

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

PŘÍPADOVÁ STUDIE – BIOPLYNOVÁ STANICE V ÚPICI

CASE STUDY – BIOGAS PLANT ÚPICE

Diplomová práce

Bc. Štěpán Přidal

Školitel: Ing. Libuše Benešová, CSc.

Duben 2010, Praha

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté) informace budou řádně citovány.

V Praze dne:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Rád na tomto místě děkuji své školitelce Ing. Libuši Benešové, CSc. za spolupráci, cenné rady a podporu. Děkuji také oběma svým rodičům za vše, co pro mě udělali, a vzhledem k této práci pak především svému otci, který mi velmi pomohl se zpracováním dat. Za pomoc se zpracováním dat děkuji také Ing. Luboši Matějčickovi, Dr. Speciální poděkování pak patří panu Karlu Srnovi, vedoucímu bioplynové stanice Úpice, se kterým se mi skvěle spolupracovalo, a bez jehož všemožné pomoci bych tuto práci těžko zpracoval.

ABSTRAKT

V této práci je popsán a vyhodnocen stav provozu bioplynové stanice v Úpici u Trutnova o instalovaném výkonu 150 kW_{el}. Tato stanice zpracovává kal z ČOV a různé druhy organických odpadů. V období prosinec 2008 až prosinec 2009 byly odebírány vzorky odstředěného digestátu a byl u nich sledován především obsah rizikových prvků. Z provozní evidence zpracovaných odpadů a produkce bioplynu byla získána data, která byla následně použita pro vyhodnocení toho, zda existuje závislost mezi vloženým množstvím určitého odpadu a produkcí bioplynu. Toto vyhodnocení bylo provedeno metodou mnohonásobné lineární regrese. Na základě provozní evidence a podrobného sledování provozu bylo posouzeno, zda bioplynová stanice naplňuje svůj projektovaný potenciál.

Výsledky jednotlivých rozborů ukázaly, že digestát v žádném ze sledovaných ukazatelů nepřesahuje limitní hodnoty pro rizikové látky stanovené legislativou a může tedy být certifikován jako hnojivo a uveden do oběhu. Ukazatele, jejichž hodnoty lze považovat za potenciálně "rizikové" jsou obsah zinku a PAU. Mnohonásobná lineární regrese vypověděla o tom, že největší pozitivní vliv na tvorbu bioplynu by měly mít odpady "obsahy bacherů" a "siláž". Poskytla však jen poměrně nízkou hodnotu koeficientu determinace ($r^2 \sim 0,73$). Zpracování dat tedy jednoznačně nevypovědělo o závislosti produkce bioplynu na vloženém množství některého z odpadů zpracovávaných v BPS Úpice. Navíc použití této metody v tomto případě vykazuje nedostatky v podobě zjednodušeného přístupu, který nepostihuje interakce mezi jednotlivými odpady, ze kterých se bioplyn tvoří.

Bioplynová stanice v Úpici zatím nenaplňuje svůj projektovaný potenciál. Celkové množství vyrobené elektrické energie činí za sledovaný rok 2009 pouze 41% z projektovaného ročního množství. Hlavní příčinou tohoto stavu je s největší pravděpodobností špatně fungující příjmový objekt, který neumožňuje zpracovávat potřebné objemy trávy a tím ovlivňuje složení a vlastnosti vsázky. Tento problém je v současnosti provozovatelem stanice řešen.

Klíčová slova: anaerobní digesce, bioodpad, bioplynová stanice, vsázka, výtěžek methanu, Úpice

ABSTRACT

In this work, a full-scale biogas plant (electrical installed capacity of 150 kW) located in Úpice near the city of Trutnov was monitored and assessed. The input materials of this plant are sewage sludge and different types of organic wastes. The samples of solid digestate were regularly taken between December 2008 and December 2009 and they were analysed for the content of toxic substances. Data concerning the amounts of particular input materials and the production of biogas were obtained directly from the operator of the plant. In order to reveal, if there is a relationship between the amount of particular input material and the production of biogas, a multiple linear regression was used. Finally, an overall assessment of the biogas plant was also implemented.

The results of chemical analyses showed the digestate fulfills the norms given by the Czech legislation and thus can be certified and put on the market. Potentially problematic substances that should be monitored in the future are zinc and PAHs. A multiple linear regression identified “a gut fillings” and “silage” as the most suitable substrates for the biogas production in this plant. However, the value of r^2 coefficient was quite low ($r^2 \sim 0,73$), so we cannot say there is a clear relationship between the amounts of particular input materials and the production of biogas. Moreover, the implementation of this method implicates a shortcoming in this case because the method does not take into account the interactions and relationships between particular input materials.

The biogas plant in Úpice has not fulfilled its projected potential so far. The total amount of electric energy produced in 2009 represents only 41% of its projected value. The deficiently working pre-treatment link seems to be the most relevant cause of this state as the link is not able to process grass and other solid biowastes. At present, this problem is being solved by the owner of the plant.

Key words: anaerobic digestion, biowaste, biogas plant, input material, methane yield, Úpice

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. ANAEROBNÍ DIGESCE	8
2.1 Definice, terminologie	8
2.2 Biochemické základy anaerobní digesce	9
2.3 Využití anaerobní digesce	13
2.4 Rozdělení anaerobních technologií.....	14
3. BIOPLYNOVÉ STANICE	15
3.1 Obecné kategorie BPS	15
3.2 Důležité parametry procesu	16
3.3 Vhodnost substrátů z hlediska produkce bioplynu a optimálního fungování procesu	17
3.4 Další faktory ovlivňující efektivitu provozu	24
3.5 Využití digestátu jako organického hnojiva	25
4. AKTUÁLNÍ STAV ROZVOJE BIPLYNOVÝCH STANIC V ČR	28
4.1 Základní údaje	28
4.2 Problematika zápachu	30
5. BIOPLYNOVÁ STANICE ÚPICE	32
5.1 Základní údaje	32
5.2 Technický popis zařízení	33
5.3 Charakteristika vstupních surovin	36
5.4 Problematika provozu	39
6.CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	40
7. METODIKA	40
7.1 Posouzení kvality digestátu	40
7.2 Zpracování dat z evidence provozu bioplynové stanice	41
7.3 Podklady pro celkové posouzení provozu BPS Úpice	45
8. VÝSLEDKY	46
8.1 Výsledky rozborů digestátu	46

8.2 Zpracování a vyhodnocení dat	46
8.3 Podklady pro celkové posouzení provozu BPS Úpice	48
9. DISKUZE	51
9.1 Posouzení digestátu	51
9.2 Zpracování a vyhodnocení dat	52
9.3 Celkové posouzení BPS Úpice	53
10. ZÁVĚR	56
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	61
PŘÍLOHY	62

1. ÚVOD

Bioplynové stanice zažívají v České republice v poslední době velký rozvoj. Je to dáno především podporou ze strany státních úřadů a garantovanou cenou za výkup energie z tohoto obnovitelného zdroje energie. Odborníci poukazují na to, že z hlediska využití obnovitelných zdrojů má Česká republika právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů. Ve své bakalářské práci jsem se věnoval obecně problematice využití bioodpadů v České republice. V závěru práce jsem konstatoval, že pro změnu směrem k smysluplnějšímu nakládání s bioodpady v ČR je nutno zavést právní předpis, který by samostatně řešil nakládání s těmito odpady, jasně bioodpady definoval, a upravoval podmínky nakládání s nimi. K vydání takového předpisu již skutečně došlo – je jím Vyhláška Ministerstva životního prostředí 341/2008 Sb. Tato diplomová práce je tedy zpracovávána v době, kdy se v ČR již začalo přecházet „od slov k činům“ - v době, kdy stát začal dostupnými nástroji naplňovat politiku racionálnějšího využití bioodpadů, kdy existuje legislativní rámec pro tuto oblast, a zároveň již také byla uvedena do provozu řada zařízení, která by novou politiku zpracování BRO měla realizovat v praxi. Jedním z typů těchto zařízení je i bioplynová stanice. Teorie tohoto prověřeného technologického procesu je již léta dobře známa, chybí však více zkušeností a výzkumů z praxe. Objevuje se potřeba poznat, jak tato technologie funguje v prostředí ČR při zapojení do systému zneškodňování biologicky rozložitelných odpadů v reálných provozních podmínkách. Tato diplomová práce by k tomuto poznání měla přispět. Konkrétně je posouzena možnost použití digestátu, který je produktem zpracování odpadních materiálů v bioplynové stanici v Úpici u Trutnova, jako organického hnojiva, dále jsou pomocí jednoduché statistické metody vyhodnocena data získaná z evidence provozu této bioplynové stanice a na závěr je provedeno celkové zhodnocení provozu.

2. ANAEROBNÍ DIGESCE

2.1 Definice, terminologie

Anaerobní digesce (synonyma anaerobní fermentace, biomethanizace, biogasifikace, vyhnívání) je soubor dějů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá bez přístupu vzduchu organické látky (substrát) (Straka et al., 2006). Konečnými produkty jsou

stabilizovaná organická hmota a bioplyn. Termínem "**bioplyn**" současná technická praxe označuje plynný produkt anaerobní methanové fermentace organických látek – směs methanu a oxidu uhličitého s možnou minoritní příměsí dalších plynů (N_2 , O_2 , H_2 , H_2S , N_2O a dalších) (Straka et al., 2006). Bioplyn se v přírodě tvoří například v hlubších partiích rybníků, slatin a močálů; rovněž plyny unikající z polí při pěstování rýže se řadí do kategorie "bioplyn". Také plyn vznikající v trávicím traktu přežvýkavců při procesu tzv. enterické fermentace je příkladem produktu přirozeně probíhající anaerobní digesce.

V tabulce 1 vidíme srovnání výhřevnosti bioplynu s ostatními plynnými palivy:

Tab. 1: Porovnání výhřevnosti plynných paliv (podle Internet, 2010)

Druh paliva	Výhřevnost [MJ/m ³]
Zemní plyn	34,05
Propan-butan	46,1
Svítiplyn	14,5
Bioplyn - 100 % CH ₄	35,8
Bioplyn - 80 % CH ₄	28,6
Bioplyn - 70 % CH ₄	25,1
Bioplyn - 67 % CH ₄	24
Bioplyn - 55 % CH ₄	19,6
Bioplyn skot průměr	21
Bioplyn prasata průměr	22,5

2.2 Biochemické základy anaerobní digesce

Anaerobní rozklad organických látek vyžaduje koordinovanou metabolickou součinnost různých mikrobiálních skupin. Podle nich většina autorů tento proces rozděluje na následující čtyři fáze:

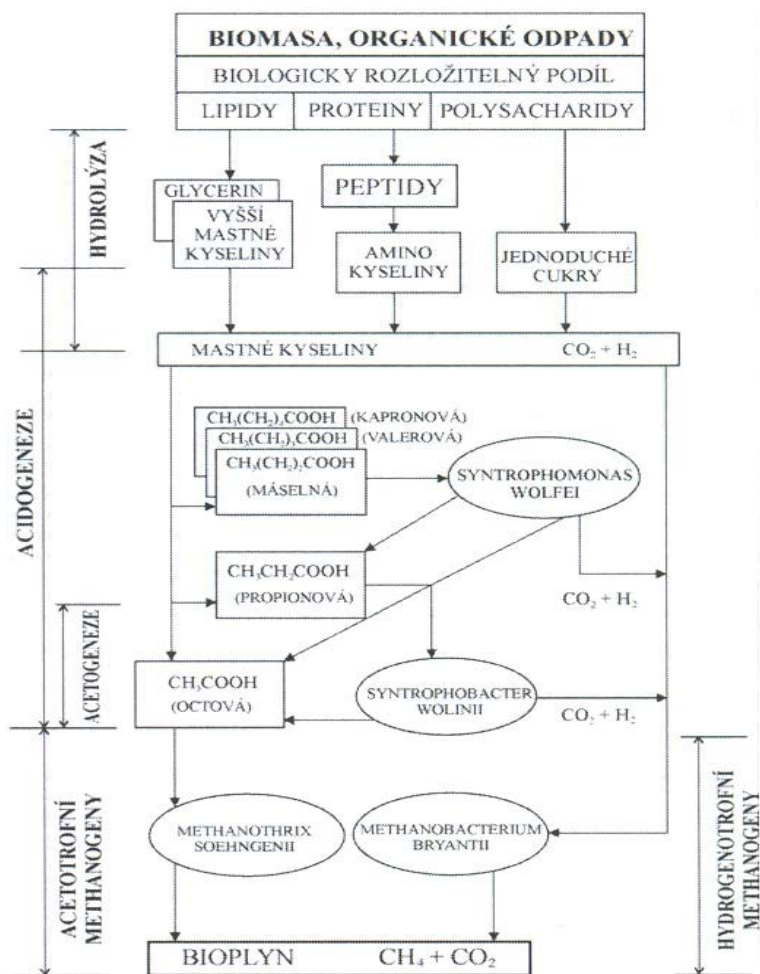
- hydrolýza – rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních

hydrolytických enzymů (hydroláz)

- acidogeneze – další rozklad produktů hydrolýzy na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO_2 a H_2 pomocí acidogenních bakterií
- acetogeneze – tvorba kyseliny octové, vodíku a CO_2 z produktů předchozích fází acetogenními bakteriemi produkujícími vodík, dále tvorba kyseliny octové a CO_2 denitrifikačními a sulfát redukujícími bakteriemi a acetogenní respirace vodíku a CO_2 homoacetogenními bakteriemi
- methanogeneze – tvorba methanu z kyseliny octové acetotrofními methanogenními bakteriemi a z jednouhlíkatých substrátů, a tvorba methanu z CO_2 a H_2 hydrogenotrofními methanogenními bakteriemi

Uvedené fáze jsou následné, ale při kontinuálním provozu reaktoru probíhají současně. Při dosažení stadia tzv. stabilizované methanogeneze jde vlastně o dlouhodobě udržovanou rovnováhu mezi navazujícími procesy, hlavně mezi procesy acidogenními a methanogenními.

Anaerobní digesce musí být chápána jako soubor procesů, v nichž vlastní methanogeny představují pouze poslední článek v řetězci biochemické konverze. Tyto procesy jsou přehledně znázorněny na obrázku 1.



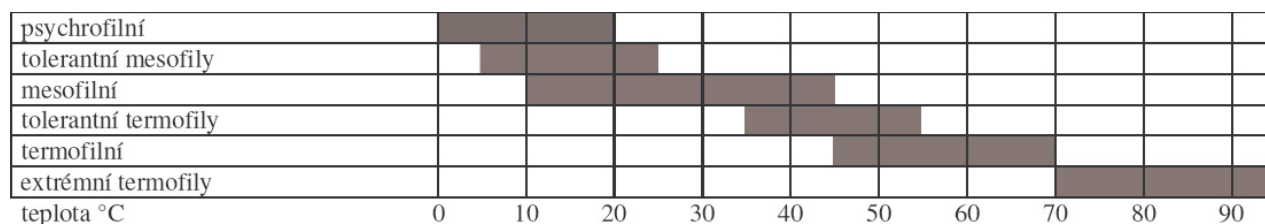
Obr. 1: Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů (Straka et al., 2006)

Prvé fáze rozkladu organické hmoty nejsou uskutečňovány vlastními methanogeny a začínají často ještě v přítomnosti kyslíku. Hydrolytické rozklady makromolekulárních látek především typu polysacharidů, lipidů a proteinů mohou probíhat jak v přítomnosti, tak i v nepřítomnosti vzduchu - činností fakultativních anaerobů a později i ryzích anaerobů v takzvané acidogenní fázi. Primární štěpení polysacharidů, hydrolýza triglyceridů i hydrolýza a deaminace peptidů poskytují hlavně jednoduché cukry a alifatické karbové kyseliny. Jednoduché cukry, nižší alifatické kyseliny a alkoholy jsou pak společenstvy dalších acidogenních a tzv. syntrofních mikroorganismů dále zpracovávány na kyseliny s kratšími řetězci, alkoholy a plyny, zastoupené hlavně oxidem uhličitým a vodíkem. Protože je tato fáze uskutečňována společenstvy, která již jsou schopna činnosti i ve zcela bezkyslíkatém prostředí,

vytvářejí se v jejím průběhu podmínky pro současný rovnovážný rozvoj symbiotických methanogenů, přičemž i primární hydrolytické procesy se pak realizují v plně anaerobních podmínkách. Fakultativní anaeroby, představované početnými hydrolytickými a acidogenními mikroorganismy, schopnými činnosti v přítomnosti i nepřítomnosti kyslíku, zajistí poměrně rychle vytvoření plně anaerobního prostředí, v němž se pak mohou rozvíjet také methanogeny. Acidogeny přitom produkují oba hlavní substráty pro tvorbu methanu. Těmito substráty jsou jednak kyselina octová, která je zpracovávána na methan tzv. acetotrofními methanogeny, a jednak směs vodíku a oxidu uhličitého, která je ještě rychleji konvertována na methan hydrogenotrofními methanogeny. Jako prakticky majoritní zdroje methanu jsou prokázány právě jen kyselina octová a směs CO_2 a H_2 . Kroky, které vedou od vyšších karbonových kyselin až ke kyselině octové, jsou pokrývány činností zejména syntrofních acidogenů, které zkracují řetězce karbonových kyselin za tvorby vodíku a oxidu uhličitého, a homoacetogenů. Velmi rychle se generující hydrogenotrofy způsobují prakticky úplné vymizení vodíku z produkovaného bioplynu. Pokud se v bioplynu objeví vodík, svědčí to vždy o narušení rovnováhy mezi acido- a methanogenními procesy, které je obvykle provázeno i poklesem pH a může mít četné příčiny dané například přetížením reaktoru, nevhodnou skladbou substrátu nebo inhibicí činnosti hydrogenotrofních bakterií.

Charakteristickým rysem probíhající methanogeneze je přibližně **neutrální pH**. V kulturách, kde jsou aktivní pouze acidogeny, může být pH relativně velmi nízké, v rozmezí 4 – 5,8; rozvoj methanogenů pak přináší vzestup pH do oblastí 6 – 7 i výše, přičemž některé druhy methanogenů mohou být aktivní i v biologicky silně alkalických prostředích s pH 8 – 9.

Methanogeny lze rozlišit podle jejich požadavků na teplotu prostředí, jak ilustruje obrázek 2. Pro současnou technologickou praxi jsou chladnomilné (**psychrofilní**) organismy jen málo významné, neboť jejich kultivační respektive produkční rychlosti jsou nízké. Naprostá většina reaktorových procesů se dnes uskutečňuje v pásmu středních teplot (**mesofilní** kultury) v rozmezí zhruba 25 – 39°C. Z hlediska produkce plynu jsou nejvýkonnější organismy **termofilní**, běžně se množící za teplot 40 – 55°C, avšak snášející i významně vyšší teploty (podle Straka et al., 2006).



Obr. 2: Teplotní rozdělení typů mikroorganismů (Straka et al., 2006).

Methanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zalaty vodou (**vlhkost** alespoň 50%) (Schulz, Eder, 2004). 50% sušiny je tedy absolutní hranice obsahu sušiny, při které ještě probíhá anaerobní fermentace. Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 – 25%, v případě tekutých odpadů 8 – 14%. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3% jsou zpracovávány anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí (proces je udržován na požadované provozní teplotě za předpokladu dodávky doplňkového tepla z externího zdroje) (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007).

Je nutno dodat, že zdaleka ne vždy musí celý rozkladný proces probíhat v řetězci tvořeném bakteriemi a jim podobnými organismy. Velmi často se hydrolytických rozkladných procesů zúčastňují vyšší a mnohem složitější organismy (prvoci, rostlinné houby). Typickým příkladem tohoto faktu jsou specializovaní prvoci (bachořci) vyskytující se v zažívacích traktách přežvýkavců (Straka et al., 2006).

2.3 Využití anaerobní digesce

Anaerobní digesce je, jak již bylo uvedeno výše, v přírodě přirozeně probíhajícím procesem, avšak pro využití tohoto procesu nás zajímají technická zařízení, kde je tento proces uplatněn více či méně řízeně. Především je anaerobní digesce využívána v různých typech reaktorů – speciálních nádobách, kde lze tento proces řídit a kontrolovat. Obecně se v reaktorech může zpracovat široká škála odpadů – od odpadů tekutých (odpadní vody) až po odpady tuhé (např. slamnatý hnůj). Pro zařízení, tvořené reaktorem na anaerobní digesti, přípravnou linkou a koncovými technologiemi na úpravu produktů, které obvykle zpracovává čistírenské kaly, zemědělské odpady, odpady z potravinářských výrob a další substráty, se vžil

pojmem **bioplynová stanice**. Tato zařízení zpracovávají biologické odpadní materiály za účelem jejich energetického využití formou elektrické a tepelné energie - jedná se tedy o obnovitelný zdroj energie (Zákon 180/2005 Sb., v platném znění).

V této práci se věnuji především bioplynovým stanicím používajícím technologii **tzv. mokré fermentace, s reaktory budovanými jako nádoby s volným prostorem, kde je biomasa se substrátem v kapalně směsi**. Dalším technologickým využitím anaerobní digesce jsou řízené skládky odpadů, kde lze rozkladný proces rovněž do jisté míry kontrolovat a vzniklý plyn pak jímat a dále využívat. Anaerobní proces se rovněž úspěšně používá při čištění různých typů odpadních vod.

Současný stav poznání procesů anaerobní digesce dokládá, že jako vstupní surovinu lze pro tuto technologii použít téměř libovolnou směs odpadů a biomasy. Bylo například zjištěno, že biomasa téměř všech suchozemských a vodních rostlinných druhů, která byla za tímto účelem zkoumána, má buď dobré výsledky při zpracování prostřednictvím anaerobní digesce, nebo může být v tomto procesu úspěšně použita po předúpravě (Gunaseelan, 1997). Technologických omezení pro výběr komponent směsi je velmi málo, pokud jsou tyto složky biologicky rozložitelné.

2.4 Rozdělení anaerobních technologií

Podle způsobu kultivace biomasy rozděluje Straka (Straka et al., 2006) technologie, v nichž probíhá anaerobní proces, do dvou hlavních skupin:

1. **"mokrý" fermentace** – koncentrace sušiny do 15 - 20 %
2. **"suchá" fermentace** – koncentrace sušiny nad 15 - 20 %

Dále jsou technologie rozlišovány na základě počtu oddělených stupňů v anaerobním procesu, jak to popisuje například Mata-Alvarez (Mata-Alvarez et al., 2003). Dělí tak systémy bioplynových stanic na **jednostupňové (one-stage)**, **dvoustupňové (two-stage)** a **vícetupňové (multi-stage)**. V případě jednostupňových reaktorů probíhají všechny reakce od hydrolýzy až po methanogenezi v jednom reaktoru. U dvoustupňových (případně i víceetupňových) reaktorů probíhají reakce následně ve dvou (či více) reaktorech. Kolem 90% bioplynových stanic provozovaných v současnosti v Evropě využívá technologii jednostupňovou (De Baere,

1999 in Mata-Alvarez et al., 2003). Výzkum bioplynových stanic tento stav však neodráží – výzkumné projekty se ve velké míře věnují rovněž i vícestupňovým technologiím. Další dělení bioplynových technologií je podle způsobu dávkování substrátu do reaktoru:

- **diskontinuální** (angl. **batch**; dávkové, s přerušovaným provozem, cyklické) – doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu.
- **semikontinuální** - doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů - materiál se dávkuje 1x až 4x, i vícekrát za den. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má malý vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Proces není náročný na obsluhu a lze jej snadno automatizovat.
- **kontinuální** - používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007).

Existuje mnoho dalších členění reaktorů pro anaerobní digesti (např. podle konstrukce nádrže, způsobu zapojení a míchání reaktorů, atd.) a pro jednotlivé typy pak i různé možnosti využití. Tato členění a technologická řešení jsou již v odborné literatuře věnující se problematice bioplynu hojně popsána (např. Straka et al., 2006; Mata-Alvarez et al., 2003; Schulz, Eder, 2004; Kára, Pastorek, Příbyl, 2007; Stibůrek, 2008 a další). Pro výběr konkrétní technologie je především určující to, které odpadní materiály budou v zařízení využívány, a samozřejmě také kolik finančních prostředků je možno investovat do jeho výstavby.

3. BIOPLYNOVÉ STANICE

3.1 Obecné kategorie BPS

Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí (MŽP, 2008) rozděluje bioplynové stanice do tří kategorií v závislosti na zpracovávaných substrátech. První kategorií jsou bioplynové stanice **zemědělské**. Jsou to takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály

rostlinného charakteru a statková hnojiva, respektive podestýlku. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech. Další kategorií jsou **čistírenské BPS**. Ty zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod a jsou jejich nedílnou součástí. Technologie anaerobní digesce je zde využívána za účelem anaerobní stabilizace vzniklého kalu. Tyto technologie rovněž nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do těchto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. V případě, že jsou do těchto nádrží na anaerobní vyhnívání přidávány jiné odpady podle zákona o odpadech, jedná se o tzv. **ostatní bioplynovou stanici**. Ostatní bioplynové stanice mohou dle metodického pokynu MŽP zpracovávat bioodpady uvedené v tabulce 3 v příloze 2 k metodickému pokynu MŽP, a také substráty, které jsou tímto pokynem stanoveny pro zemědělské a čistírenské BPS (MŽP, 2008). Někdy se také setkáváme s termínem **kofermentační** (kofermentace = společná fermentace různých druhů organických látek (Mužík, Kára, 2009)), případně **průmyslové BPS**. To je vlastně případ výše zmíněné kategorie "ostatní" BPS. CZ BIOM uvádí, že jde o bioplynové stanice, které zpracovávají výhradně nebo v určitém podílu rizikové vstupy, kterými jsou zejména jateční odpady, kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, odpadní klišovku a štípenku, krev z jatek apod. (CZ BIOM, 2007). Tyto bioplynové stanice bývají rovněž označovány jako **komunální bioplynové stanice** (CZ BIOM, 2010), protože často zpracovávají také komunální bioodpady.

3.2 Důležité parametry procesu

Doba zdržení (HRT - z angl. hydraulic retention time) [d] - doba po kterou zůstává materiál v reaktoru. Dobu zdržení (ve dnech) lze spočítat ze vztahu:

$$HRT = V / Q$$

kde V [m^3] je využitelný objem reaktoru a Q [m^3/d] je denní přítok substrátu do reaktoru.

Doba zdržení je jedním z klíčových provozních parametrů – její momentální hodnota porovnaná s hodnotou projektovanou nám (spolu s hodnotou zatížení reaktoru) vypovídá o tom, nakolik je bioplynová stanice využívána (příliš dlouhá doba zdržení = nedostatečné využití, příliš krátká = přetěžování). Čím delší je doba zdržení substrátu v reaktoru, tím více bioplynu z něj získáme a tím blíže bude výtěžek bioplynu maximálnímu možnému teoretickému výtěžku pro daný materiál (Mata-Alvarez et al., 2003).

Zatížení reaktoru (OLR - z angl. organic loading rate) [kg org. látek / m³ reaktoru . d] – rychlost dávkování substrátu neboli množství organických látek vložené do daného objemu reaktoru za určitý čas. Platí pro něj vztah:

$$OLR = Q \cdot S / V$$

kde Q [m³/d] je opět denní přítok substrátu do reaktoru, S [kg org. látek/m³] je koncentrace org. látek v přítoku a V [m³] využitelný objem reaktoru. Organické látky jsou zde uváděny obvykle jako ztráta žíháním, CHSK apod.

Obsah methanu v produkovaném bioplynu [% obj. CH₄] – údaj, který uvádí množství methanu v bioplynu v objemových procentech. Obsah methanu se obvykle pohybuje mezi 50 a 80% obj. Obsah methanu v bioplynu je ve stabilizovaném provozu stabilní a jeho kolísání o více než 2% již signalizuje měnící se fermentační podmínky (podle Mata-Alvarez et al., 2003; Schulz, Eder, 2004; Straka et al., 2006).

3.3 Vhodnost substrátů z hlediska produkce bioplynu a optimálního fungování procesu

Vkládaný substrát (vsázka) je určující pro optimální fungování celého procesu. U substrátu se obvykle sleduje především obsah sušiny, dále chemická spotřeba kyslíku (CHSK) nebo ztráta žíháním (ZŽ), eventuelně TOC, které vypovídají o obsahu organických látek, a hodnota pH. Skladba a složení vsázky je parametr, který operátor (osoba, která řídí provoz BPS

a personál stanice) může – pokud mu to možnosti a okolnosti provozu umožňují - měnit dle potřeby.

Jak již bylo uvedeno výše, jako vstupní surovinu pro bioplynovou stanici lze použít téměř libovolnou směs odpadů a biomasy. Materiál vhodný pro anaerobní digesti by však měl splňovat tyto základní požadavky:

- nízký obsah anorganického podílu (popelovin)
- organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek
- optimální obsah sušiny - v případě tekutých odpadů 8 – 14%
- hodnota pH – za optimální se na vstupu do procesu považuje interval blízký neutrální hodnotě $\text{pH} = 7 \div 7,8$
- poměr C : N - za optimální se považuje pásmo kolem 30 : 1
- absence nežádoucích příměsí – zpravidla látky potlačující mikrobiální rozvoj (antibiotika používaná jako léčiva pro zvířata, nebo preventivně jako součást krmných směsí pro drůbež); do pracovního prostoru reaktorů by se neměli dávat ani materiály, které jsou již ve hnilobném rozkladu (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007).

Dle Maty-Alvareze et al. ovlivňují míru rozložitelnosti organických látek tyto dva faktory:

- povrch částic, který je přímo úměrný jejich velikosti,
- chemické složení substrátu (Mata-Alvarez et al., 2003).

Je známo, že některé substráty jsou výhodnější díky lepší biologické rozložitelnosti a výtěžku bioplynu než substráty jiné. Schopnost substrátu produkovat bioplyn je charakterizována jeho **měrným výtěžkem methanu**. V anglosaské literatuře je nejčastěji uváděna hodnota B_0 [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg ZŽ}$] - maximální výtěžnost methanu (ultimate methane yield), která uvádí maximální množství methanu, které lze získat za optimálních podmínek z kilogramu organických látek (ztráta žiháním (ZŽ) – volatile solids (VS)) obsažených ve studovaném substrátu (Mata-Alvarez et al., 2003). V české literatuře se setkáváme s obdobným termínem teoretická substrátová produkce methanu ($\text{TV}_{\text{CH}_4\text{S}}$) (Straka, 2006).

Vedle toho je také často užívána tzv. specifická produkce methanu (SMP – z angl. specific methane production, $[\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg ZŽ}]$), která zohledňuje momentální procesní podmínky v reaktoru (reakční kinetiku, dobu zdržení apod.)(Mata-Alvarez et al., 2003). Tato hodnota tedy bývá nižší než hodnota B_0 .

Jak již bylo uvedeno výše, vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsemi – **inhibitory** procesu. Jedněmi z nich jsou rozpouštědla, často přítomná v odpadních vodách z průmyslu (alkoholy, organické kyseliny, estery, ketony, atd.), která mohou být pro methanogenní bakterie velmi toxická. Dále jsou to také pesticidy, barviva, léčiva a další syntetické látky (Mata-Alvarez et al., 2003). Potíže v procesu mohou působit materiály s baktericidními anebo antibiotickými účinky (například antibiotika z hromadné medicíny hospodářských zvířat) (Straka et al., 2006).

Poměr C : N neboli poměr uhlíkatých a dusíkatých látek, je významným parametrem pro hodnocení vhodnosti materiálů pro anaerobní digesti. Vysoký obsah dusíkatých látek se může projevit negativně na složení bioplynu (obsahuje minoritní obsah plynů jako například amoniaku, oxidu dusného, a dalších). Mezi materiály s vysokým obsahem N patří exkrementy všech druhů hospodářských zvířat, opačný extrém (vysoký obsah C) tvoří materiály rostlinného původu. V praxi se optimálního poměru C : N dosahuje mísením různých materiálů (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007).

Tab. 2: Poměr C : N v některých materiálech (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007)

<i>Druh materiálu</i>	<i>C : N</i>
<i>kůra</i>	120 : 1
<i>piliny</i>	500 : 1
<i>papír, karton</i>	350 ÷ 1000 : 1
<i>odpad z kuchyně</i>	12 ÷ 20 : 1
<i>odpad ze zeleniny</i>	13 : 1
<i>posečená tráva</i>	12 ÷ 25 : 1
<i>odpad ze zahrad</i>	20 ÷ 60 : 1
<i>listí</i>	30 ÷ 60 : 1
<i>dřevěné štěpky</i>	100 ÷ 150 : 1
<i>drůbeží trus</i>	10 : 1
<i>močůvka</i>	2 : 1
<i>kejda skotu</i>	10 : 1
<i>sláma obilná</i>	60 ÷ 100 : 1

Methanogenní bakterie potřebují vedle dusíku i další **nutrienty**. Potřebný poměr uhlíku ku **fosforu** je přibližně C : P = 100 : 1 až 150 : 1 ve hmotnostních údajích. **Síra** může být odebírána z nejrůznějších zdrojů jako síra elementární, siřičitany, thiosířany, sířany nebo síru obsahující aminokyseliny. Methanogeny potřebují i četné stopové prvky (Na, K, Mg, Mo, W, Se, a další) (Straka et al., 2006).

Co se týče chemického složení substrátu, Straka (Straka et al., 2006) uvádí, že **výtěžek bioplynu roste se stoupajícím obsahem rozpustných sacharidů**. Hlavními zdroji methanu obsaženými v biologicky rozložitelných podílech odpadů či biomasy jsou polysacharidy, proteiny a lipidy. Jen v několika případech však nejsou **polysacharidy** zdrojem hlavním a jsou v produkci methanu méně významné než proteiny anebo lipidy. To dokládá například i výzkum termofilního procesu v BPS v italské Lombardii, kde polysacharidy dominovaly NMR spektrální analýze vkládané vsázky složené z různých organických odpadů (Tambone et al.,

2009). U fermentace rostlinné biomasy jsou to polysacharidy typu celulózy a hemicelulózy, a také škrob, který je velmi snadno rozložitelný. Naproti tomu třetí hlavní složka rostlinných biomas, **lignin**, je biologicky velmi obtížně rozložitelný (Straka et al., 2006). Amon (Amon et al., 2007) uvádí, že látky tvořící strukturu materiálu - především lignin - jsou určující pro to, zda lze daný organický substrát zpracovat anaerobní digescí. Někteří autoři (Chandler et al., 1980, Tong et al., 1990, Jimenez et al., 1990 - in Mata-Alvarez et al., 2003) studovali vliv obsahu ligninu v substrátu na jeho biologickou rozložitelnost. Ukázalo se, že rozložitelnost ligninu silně závisela na struktuře sloučeniny - organické látky se stejným obsahem ligninu vykazovaly různou míru rozložitelnosti. Není známo, že by docházelo k rozkladu ligninu v anaerobních podmínkách, proto budou lignocelulózové odpady s vysokým obsahem ligninu poskytovat nízké výtěžky methanu. Rozklad ligninu jsou však schopny urychlit některé houby v aerobním prostředí a je tedy lepší zpracovávat tyto odpady kompostováním (Mata-Alvarez et al., 2003). Otázky kolem rozkladu ligninu v biomethanizačních procesech jsou podrobně studovány Jimenezem (Jimenez, Cartagena, Arce, 1990). **Lipidy** jsou z technologického hlediska známy jako látky s vysokými měrnými výtěžky bioplynu i vysokými obsahy methanu v bioplynu, avšak obvykle nebývají ve fermentované surovině většinou zastoupeny (Straka et al., 2006). Podléhají relativně snadno enzymové hydrolýze. Problémem může být technické zvládnutí rozkladu tuků, které díky své hydrofobicitě mohou mít tendenci vyplouvat k hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny (Dohányos, 2009).

Proteiny jsou rovněž dobře rozkládány, avšak jejich zásadním problémem je obsah dusíku a síry v původních strukturách. Organicky vázaný dusík je v anaerobních procesech ve značné míře převáděn do podoby amonných solí. Pokud v reakčním prostředí stoupne buď koncentrace amonných iontů nebo pH, může dojít k významnému zbrzdění fermentačních pochodů toxickými vlivy volného, nedisociovaného amoniaku. Síra se dostává do bioplynu ve formě H_2S , který je při procesech zpracovávání a distribuce bioplynu velmi problematický (Straka et al., 2006). Vlastnosti sacharidů, proteinů a lipidů ve vztahu k produkci bioplynu přehledně shrnuje tabulka 3:

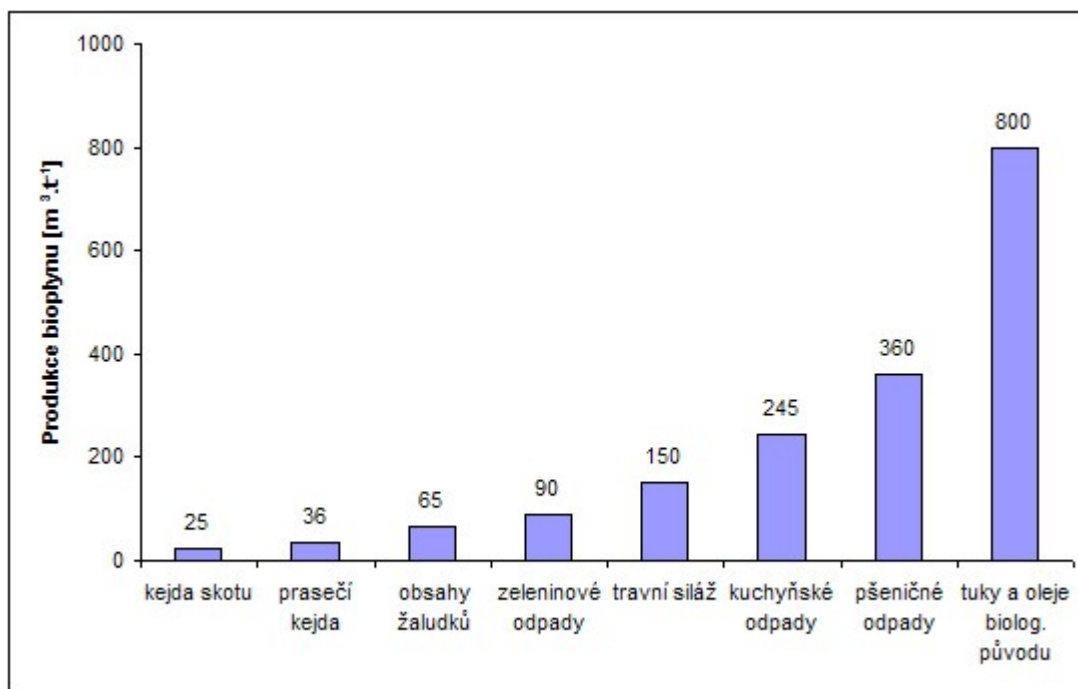
Tab. 3: Specifická produkce bioplynu u třech základních složek biomasy (Váňa, 2009)

Látka	Specifická produkce bioplynu, litrů/kg rozložené sušiny	Obsah metanu v bioplynu, % obj.	Odpovídající průměrná výhřevnost bioplynu, MJ/m ³
Tuky	1120 – 1580	71 – 84	24,9
Sacharidy	760 – 890	50 – 54	17,8
Bílkoviny	560 – 780	62 – 67	23,4

Hodnoty teoretických výtěžků methanu jsou dle některých autorů (Dohányos, 2009; Straka et al., 2006) závislé především na tzv. **průměrném oxidačním čísle atomu uhlíku (POXČ)** dané látky. Čím je hodnota POXČ nižší, tím lepším palivem daná látka je a produkuje též tím menší objem CO₂ na jednotku využitelného tepla (Straka et al., 2006).

Pokud se podíváme na přehled měrných výtěžků methanu z různých typů rostlinné biomasy, který souborně zpracoval Gunaseelan (Gunaseelan, 1997) pro materiály s vysokými měrnými výtěžky methanu na základě dostupných výzkumů na toto téma, jeví se jako nejvýhodnější kategorií odpady z ovoce a zeleniny (měrný výtěžek CH₄ 0,510 m³/kg ZŽ pro směs těchto odpadů). Vysoký měrný výtěžek vykazuje také mořská biomasa – konkrétně druhy *Ulva*, *Cladophora* a *Chaetomorpha* (měrný výtěžek CH₄ 0,480 m³/kg ZŽ). Ze substrátů, dostupných v České republice, mají dle tohoto autora vysoký měrný výtěžek methanu ručně vytríděná biologická frakce komunálního odpadu (0,430 m³ CH₄/kg ZŽ), odpady z brambor (0,426 m³ CH₄/kg ZŽ), květáku (0,423 m³ CH₄/kg ZŽ) a zpracování rajčat (0,420 m³ CH₄/kg ZŽ). Podobná čísla uvádí v přehledu zpracovaném na základě dostupné literatury Straka (Straka et al., 2006). Jako materiály s relativně nízkým měrným výtěžkem methanu tento autor uvádí slámu obilní (0,111-0,211 m³ CH₄/kg ZŽ) a slámu řepky ozimé (0,192 m³ CH₄/kg ZŽ).

Další pohled na problematiku výtěžnosti bioplynu ze zpracovávaného materiálu nabízejí Mužík a Kára (Mužík, Kára, 2009) - viz obrázek 3. Z obrázku je patrné, že oleje a tuky měrnou produkcí bioplynu výrazně převyšují ostatní materiály.



Obr. 3: Měrná produkce bioplynu z vybraných čerstvých materiálů (Mužík, Kára, 2009)

Další údaje o výtěžnosti methanu pro některé substráty vidíme v tabulce 4. I z tohoto přehledu vyplývá, že tuky obecně mají největší výtěžnost bioplynu. Dále jsou vhodnými substráty pro tvorbu bioplynu kuchyňské odpady, bioodpady a bramborové slupky.

Tab. 4: Výtěžnost methanu u vybraných substrátů (podle Kára, Pastorek, Příbyl, 2007)

Materiál	Produkce bioplynu [m³ CH ₄ .kg ⁻¹ org. sušiny]
bramborové slupky	0,55
ovocná drť	0,4
kuchyňské odpady	0,5 – 0,6
obsah bachoru	0,28 – 0,4
tuk	0,7 (1,0)
zeleninové odpady	0,4
bioodpad	0,5 – 0,6

Na tomto místě je však důležité zdůraznit, že zcela obecným jevem jsou **veliké rozdíly v uváděných výtěžnostech methanu** nejen mezi různými autory, ale i uvnitř jedné publikace. Není žádnou výjimkou skutečnost, že například maximální hodnota měrného výtěžku methanu u jednoho substrátu tvoří až 300% hodnoty minimální. Různé prameny se obecně shodnou v tom, že proteiny a lipidy poskytují vyšší výtěžky a vyšší koncentrace CH_4 oproti polysacharidům (Straka et al., 2006).

3.4 Další faktory ovlivňující efektivitu provozu

Skladování a manipulace se substrátem - vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém proběhne proces aerobní fermentace (kompostování), nebo fyzikálně-mechanickými účinky na materiál (například při dopravě slamnaté chlévské mrvy potrubím, atd.) se může narušit následný proces anaerobního zpracování takového „studeného“ materiálu (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007). Vzhledem k tomu, že zpracovávaná surovina je většinou nesterilní směsí různých snadno i hůře rozložitelných organických látek, jsou v ní přítomny i různé mikroorganismy a tudíž mohou probíhat samovolné biologické procesy rozkladu podle podmínek prostředí. Obvykle při tom dochází k úniku vznikajících plyných nebo těkavých látek a k poklesu organických látek. Při delším skladování např. prasečí kejdy může dojít k úbytku až 40% celkové CHSK a v tomto poměru se sníží i výtěžnost methanu (Dohányos, 2009).

Velikost částic ve vstupním substrátu - zmenšením velikosti částic dochází ke zvětšení celkového povrchu a ke zlepšení přístupnosti organických látek v substrátu enzymatickému rozkladu (Dohányos, 2009). Organické látky nerozpustné ve vodě musejí být buď rozdrobeny (například tukové přídavky) nebo strukturovány tak (například celulóza), aby vznikly velké dotykové plochy. Materiály jako slámu, dlouhou travu nebo bioodpad je nutno rozsekat, pokud možno na vlákna, protože jinak vyhnívají velmi dlouho a vytvářejí kalový strop (plovoucí příkrov) (Schulz, Eder, 2004).

3.5 Využití digestátu jako organického hnojiva

Je všeobecně známo, že jedním z rozhodujících kritérií půdní úrodnosti a stability je obsah půdní organické hmoty. Další významnou vlastností je chemické složení a struktura organických látek v půdě, které mají vliv na schopnost půdy vázat cizorodé látky a dále na pufrovací, zásobní a filtrační funkci půdy. Všechny požadované vlastnosti půdy můžeme výrazně ovlivnit použitím organických hnojiv, tedy i digestátem z bioplynových stanic (Babička, 2010). Kvalitní digestát je hnojivem, které obsahuje hodnotné organické látky a minerální živiny (CZ BIOM, 2007).

Digestáty lze - pokud splní všechny podmínky rozhodné pro registraci (viz níže) - nechat certifikovat jako **hnojivo** podle Zákona o hnojivech 156/1998 Sb. v platném znění. Digestáty, které splňují tyto podmínky, jsou v seznamu uvedeném v příloze 6 vyhlášky 341/2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady řazeny do tzv. 1. skupiny – jako výstupy, které splňují požadavky na výrobky podle jiných právních předpisů (v případě digestátu je tímto předpisem Zákon 156/1998 Sb.). Mírnější kriteria (limitní koncentrace vybraných rizikových látek, znaky jakosti), stanovená pouze vyhláškou 341/2008 Sb., platí pro tzv. 2. skupinu, tedy výstupy, které se využívají mimo zemědělskou a lesní půdu (tzv. rekultivační digestáty). Pro úplnost je třeba uvést, že 3. skupina je označena jako stabilizovaný bioodpad určený k uložení na skládku nebo k jinému způsobu využití, než výstupy 1. a 2. skupiny, a 4. skupina jsou výstupy, které nesplňují podmínky pro 1., 2. a 3. skupinu a které jsou odpady biologicky nerozložitelnými, určenými většinou k odstranění.

Zákon o hnojivech 156/1998 Sb. v platném znění uvádí, že: "Organická hnojiva vzniklá anaerobní fermentací při výrobě bioplynu smějí být používána na zemědělské půdě a lesních pozemcích pouze pokud jsou registrována podle tohoto zákona; to neplatí, jsou-li vyrobena výhradně ze statkových hnojiv nebo objemných krmiv" (§9 odst. 4, zák. o hnojivech 156/1998 Sb.). Bez registrace nelze digestát ani uvádět do oběhu prodejem nebo jiným způsobem. Pokud se digestáty využívají jako organické hnojivo, postupuje se při jejich použití podle zákona č. 156/1998 Sb., a zejména podle znění vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Podle této vyhlášky je digestát **organické hnojivo typové** (typ 18.1 e) a musí splňovat limitní hodnoty rizikových prvků uvedených v příloze č. 1,

tabulka č. 2 této vyhlášky (Večeřová, Bláhová, 2008). Aby digestát mohl být označen jako typové organické hnojivo, musí sušina digestátu obsahovat minimálně 25% spalitelných látek a 0,6% celkového dusíku. Ostatní digestáty určené pro zemědělskou půdu jsou považovány za netypové organické hnojivo (Váňa, 2007). Pokud je digestát vyráběn pouze ze statkových hnojiv a objemných krmiv, jedná se o typové organické hnojivo a tyto digestáty se mohou od ledna 2009 pouze ohlásit na Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) a uvádět do oběhu. Pokud je ale digestát vyráběn ještě navíc z jiných materiálů (např. kaly, masokostní moučky, atd.), nejedná se již o typové organické hnojivo a digestát musí být registrován ÚKZÚZ a to i při používání na vlastní pozemky (Večeřová, úst. sdělení, 2010).

Kvalita digestátu jako organického hnojiva samozřejmě závisí na použitých vstupních substrátech a způsobu vedení procesu anaerobní digesce a může se tak výrazně lišit v závislosti na místě původu digestátu. Například v případové studii bioplynové stanice ve švédském Västeråsu, kde jsou jako vstupní suroviny použity výhradně odděleně sebraný kuchyňský odpad z domácností (61% hmotnosti vstupní suroviny), kal z lapáků tuků (17%) a energetické plodiny (22%), si autoři pochvalují, že tamní produkty anaerobní digesce mohou nahradit minerální hnojiva na 1 200 – 1 600 hektarech polních ploch obilovin (Monson et al., 2007). Rovněž Tambone uvádí, že se digestát jeví jako vhodné organické hnojivo, nicméně je potřeba, aby byl jeho vliv na obsah živin a rovnováhu humínových látek v půdě podrobněji zkoumán přímo - metodou polních pokusů (Tambone et al., 2009). Často se také hovoří o digestátech ze společného zpracování čistírenských kalů a jatečních nebo kuchyňských odpadů. Váňa uvádí, že tyto společné výstupy bývají často nadlimitně kontaminovány cizorodými látkami, těžkými kovy a vykazují riziko infekčnosti (Váňa, 2007). Na kontaminaci digestátu těžkými kovy, pocházejícími z tukových či jídelních odpadů poukazuje i Poetsch (Poetsch, Pfundtner, Hopfner-Sixt, 2007). Studie několika bioplynových stanic v Rakousku, používajících různé vstupní substráty, ukazuje, že existuje riziko infekčnosti u digestátu, pro jehož výrobu byly použity také jídelní odpady. Dvě třetiny studovaných BPS, u nichž bylo ve vzorku digestátu nalezeno nadlimitní množství kolonií *Enterobacteriaceae* zpracovávaly jídelní odpady a všechny BPS u nichž byl v digestátu pozitivní nález na *Salmonella spp.* zpracovávaly tukové odpady (odloučené tuky nebo jedlé tuky) (Poetsch, Pfundtner, Hopfner-Sixt, 2007).

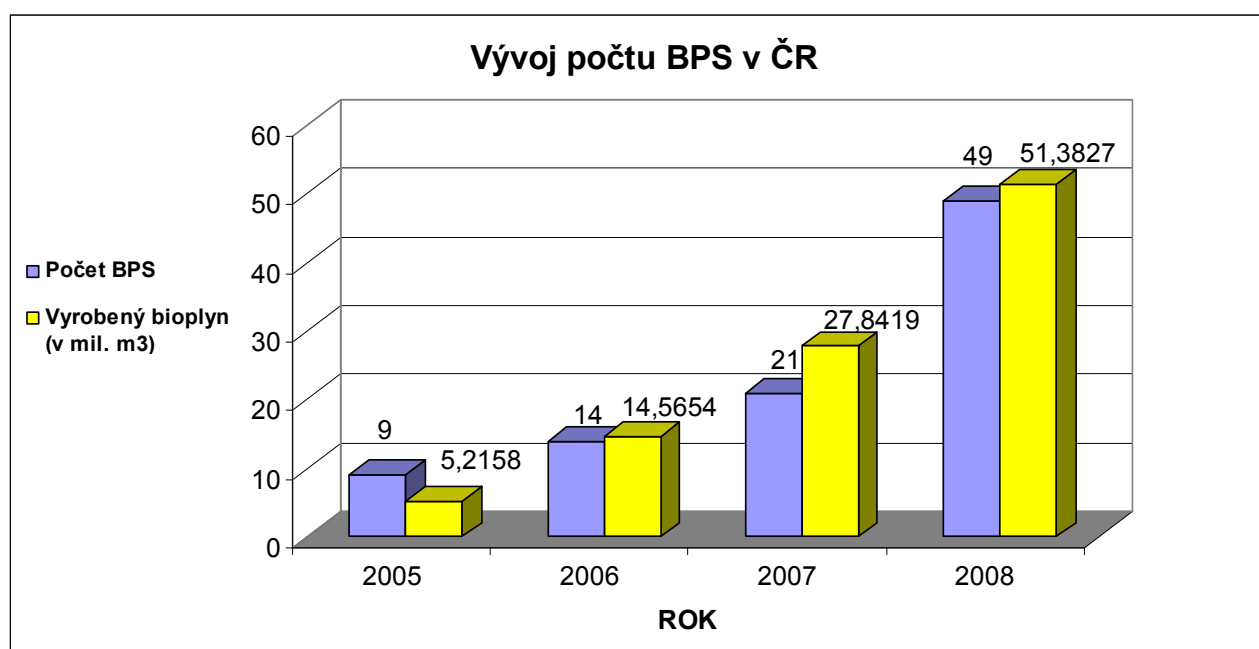
O digestátu, pocházejícím ze zpracování kejdy anaerobní digesí, pojednává Babička (Babička, 2010). Uvádí, že fermentovaná kejda spolu s ostatními složkami představuje komplexní, organominerální hnojivo s vysokou hnojivou účinností srovnatelnou s chlévskou mrvou, přičemž hlavní předností fermentačního procesu je stabilizace organického zbytku a úplné odstranění zápachu. Anaerobní fermentací dojde k výraznému zlepšení snášenlivosti rostlinami, protože rozkladem sušiny a leptavě působících organických kyselin dochází ke zvýšení pH a zředění substrátu. Takto zředěný substrát, resp. kejda se lépe čerpá a aplikuje. Vzhledem ke snížené viskozitě proniká snáze do půdy a tím dochází i ke snížení ztrát dusíku, který je v anaerobně fermentované kejdě pouze v amoniakální formě. Anaerobní fermentační proces probíhá v uzavřeném systému v reaktoru, což zabraňuje ztrátám živin. V porovnání s volným skládkováním nebo kompostováním se zamezí ztrátám dusíku v rozsahu 20–40%. Dusík, který je v anaerobně fermentovaném substrátu nebo kejdě ve formě amoniaku, je nutné pokud možno co nejrychleji zapravit do půdy. Z provedených pokusů jsou zřetelné výrazné rozdíly ve výnosech i v kvalitativních parametrech plodin při použití fermentované kejdy v porovnání s nefermentovanou kejdou. Organicky vázaný dusík je v anaerobně fermentované kejdě tvořen převážně odumřelými metanovými bakteriemi a v půdě je pomalu mineralizován. Obsah fosforu, draslíku a vápníku zůstává v plném rozsahu zachován. Obdobně i síra, která je nutná pro tvorbu bílkovin, se při odsiřování bioplynu vrací spolu s kejdou zpět na pole, což je nesmírně důležité při pěstování řepky a brukvovitých plodin obecně. Na rozdíl od spalování biomasy je neseparovaná „bioplynová kejda“ též nesmírně důležitá z hlediska uhlíkové bilance v půdě. Lignin a v menší míře celulóza nejsou metanovými bakteriemi rozkládány a jsou spolu s kejdou vraceny zpět na pole, kde přispívají k zpětnému navracení uhlíku do půdy. Obavy některých zemědělců i vědeckých pracovníků o škodlivost anaerobně fermentované kejdy na růst rostlin jsou naprosto neopodstatněné a svědčí o hlubokých neznalostech moderních biotechnologických postupů (Babička, 2010).

4. AKTUÁLNÍ STAV ROZVOJE BIPLYNOVÝCH STANIC V ČR

4.1 Základní údaje

V této kapitole stručně uvedu údaje popisující aktuální stav rozvoje bioplynových stanic v České republice. Tato problematika je jistě mnohem širší, avšak rozsah této práce neumožňuje plně se jí věnovat.

Vývoj bioplynových stanic do roku 2004 v České republice zcela stagnoval (ČTK, 2008). Vývoj v dalších letech můžeme pozorovat na obrázku 4.



Obr. 4: Vývoj počtu bioplynových stanic v ČR v letech 2005 až 2008 (podle MPO)
(pozn.: započítány jsou pouze samostatné BPS - nikoli BPS na ČOV nebo skládky odpadů)

V roce 2008 bylo k energetickým účelům využito 175,6 mil. m³ bioplynu, což je více než v roce 2007 (150,5 mil. m³). Nejvíce se na tomto nárůstu podílela produkce bioplynových stanic, kde objem vyrobeného bioplynu vzrostl z 28 na 51 mil. m³. Energetický obsah veškerého využitého bioplynu činil v roce 3,8 PJ (MPO, 2009). Poslední dostupné oficiální statistiky shrnují přehledně tabulky 5 až 7.

Tab. 5: Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2008 (MPO, 2009)

	Počet respondentů	Počet lokalit (ČOV, skládek, BPS)	Spotřeba bioplynu (m ³)
Komunální ČOV	48	96	57 857 277
Průmyslové ČOV	12	13	3 624 054
Bioplynové stanice	48	49	51 382 715
Skládkový plyn	24	58	62 705 698
Celkem	132	216	175 569 744

Tab. 6: Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2008 (podle MPO, 2009)

	Počet resp.	Počet zařízení na výrobu elektřiny	Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)	Přímé dodávky (MWh)
Komunální ČOV	31	72	17 206	74 036,3	14 723,8	0,0
Průmyslové ČOV	6	9	1 029	4 016,4	840,0	0,0
Bioplynové stanice	47	99	28 946	91 580,0	72 239,8	3 731,9
Skládkový plyn	24	80	23 850	97 235,6	88 910,8	0,0
Celkem	108	260	71 031	266 868,3	176 714,4	3 731,9

Tab. 7: Výroba tepla z bioplynu v roce 2008 (MPO, 2009)

	Počet resp.	Počet zařízení na výrobu tepla	Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč. ztrát (GJ)	Přímé dodávky (GJ)
Komunální ČOV	48	194	89 691	690 251,9	690 251,9	0,0
Průmyslové ČOV	12	20	9 174	62 232,3	58 232,3	4 000,0
Bioplynové stanice	42	96	28 812	226 451,9	149 591,9	76 860,0
Skládkový plyn	5	19	7 541	86 454,3	24 629,9	61 824,4
Celkem	107	329	135 218	1 065 390,3	922 705,9	142 684,4

4.2 Problematika zápachu

V souvislosti s bioplynovými stanicemi se často setkáváme s obavami občanů, že se v okolí těchto zařízení bude šířit zápach, který jim bude znepříjemňovat život. Faktem je, že jistě existují stanice, u kterých se tento problém vyskytl. Při kofermentaci odpadů, zejména masokostní moučky, kafilerních tuků, papírenských kalů a podobných rizikových materiálů, či při biozplyňování zvířecích fekálií na zařízeních, které nebyly přizpůsobeny těmto odpadům, docházelo k nežádoucím emisím zápachu. BPS projektované jako jednostupňová zařízení s nezakrytými zásobníky digestátu a s malou dobou zdržení byly svými provozovateli přetěžovány odpady za účelem získání vysokých příjmů za zpracování odpadů (CECM, 2009). Je třeba zdůraznit, že správně navržená a tedy i správně pracující bioplynová stanice a jí produkovaný digestát v žádném případě nezamořují své okolí pachem a z hygienického hlediska se nejedná o mikrobiálně závadnou látku (Babička, 2010). Naprostá většina látek, které jsou nositeli zápachu, je v anaerobních procesech velmi účinně rozkládána (Straka et al., 2006). Bačík (Bačík, 2008) uvádí, že zemědělské bioplynové stanice fungující v areálech stávajících zemědělských provozů zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení přilehlé oblasti pachovými látkami. Zbavení prasečí kejdy zápachu zpracováním anaerobní digescí potvrzuje i Babička (Babička, 2010). Illmer a Gstraunthaler (Illmer P., Gstraunthaler G., 2009) dokonce uvádějí jako jednu z výhod anaerobní digesce to, že pachy zpracovávaných odpadů mohou být v tomto procesu efektivně eliminovány a technologie je proto pozitivně přijímána obyvateli sousedících sídel! Aby tomu tak bylo, je potřeba dodržet několik základních zásad jednak při projekci a pak samozřejmě při vlastním provozu BPS.

Suroviny a odpady vstupující do zařízení jsou určujícími pro otázku možnosti vzniku zápachu. Právě podle druhu vstupů je zapotřebí typy BPS důsledně rozlišovat, projektovat a stanovovat na ně i různé požadavky v průběhu procesu získání povolení k provozu. Pokud BPS zpracovává tzv. **rizikové vstupy** - např. jateční odpady, kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, odpadní klišovku a štípenku, krev z jatek apod. - je potřeba, aby se podle toho uzpůsobil celý následující fermentační proces (CZ BIOM, 2007). Především mnoho autorů poukazuje na to, že pro vstupní suroviny s vysokou rozložitelností (kterými jsou

i výše zmíněné rizikové vstupy) je vhodnější použít dvoufázový proces anaerobní digesce, který zajistí větší stabilizaci vstupní suroviny než proces jednofázový (např. Ward et al., 2008; CZ BIOM, 2007, Mata-Alvarez et al. 2003; Mata-Alvarez, Macé, Llabrés, 2000). Zpracování rizikových vstupů totiž může zejména při jednostupňovém procesu způsobit vysoké prostorové zatížení reaktoru organickou sušinou, čímž narůstá pravděpodobnost tvorby nedostatečně stabilizovaného a tedy zapáchajícího digestátu. K vyšší stabilitě procesu u rizikových vstupů nebo u zařízení s větší kapacitou dále výrazně přispívá optimální dimenzování využitelné kapacity fermentorů na základě výpočtu tzv. prostorového zatížení organickou sušinou. Rovněž je třeba zajistit dostatečnou dobu zdržení substrátu ve fermentorech. Ta se může výrazně lišit v závislosti na typu vstupních surovin a na použité technologii. U rizikových vstupů by měla být vždy delší než u statkových hnojiv a pěstované biomasy. Doba zdržení ale vždy musí zajistit, aby proces anaerobní digesce vedl k dostatečnému rozložení organické hmoty v substrátu a aby tak byl ve výsledném digestátu minimalizován obsah biologicky rozložitelných látek. Tak bude digestát stabilizován a riziko zápachu eliminováno (CZ BIOM, 2007). Samozřejmostí BPS, zpracovávající rizikové vstupy, by mělo být i to, že prostory, ve kterých se tvoří zápach (především hala na příjem surovin, homogenizační jímka nebo případně prostor na dotřídění a úpravu vstupů) jsou vybaveny odsáváním vzduchu, který je čištěn v biofiltru nebo jiném filtračním zařízení. Riziko případného zápachu rovněž výrazně sníží zastřešení uskladňovacích prostor pro koncový produkt (digestát) (CZ BIOM, 2007). Při samotném provozování BPS je potřeba, stejně jako ve všech technických i jiných provozech, důsledně dodržovat schválený provozní řád a sledovat technický stav zařízení. Výroba samotného bioplynu probíhá ve fermentačních nádržích, které jsou plynotěsné a hermeticky uzavřené, takže únik zápachu v této části je během řádného provozu vyloučen. Rizikové jsou z tohoto pohledu spíše fáze příjmu zpracovávaných materiálů (příjmové objekty) do zařízení a fáze skladování digestátu vystupujícího z procesu. Je však třeba znovu zopakovat, že pokud jsou vhodně naprojektovány (instalace biofiltrů, zastřešení, vhodné prostorové řešení, apod.) a provozovány (dodržování provozní kázně), neuniká ani z těchto fází provozu zápach. Kvalitní digestát je pak hnojivem, které projevuje pouze malé znaky zápachu, v ideálním případě nezapáchá vůbec (CZ BIOM, 2007). Rovněž vlastní bioplyn téměř nepáchne. Methan i oxid

uhličitý, ze kterých se bioplyn převážně skládá, jsou plyny bez barvy a zápachu. Zápach bioplynu tedy mohou způsobovat pouze minoritní příměsi jako například H_2S , které se ovšem v bioplynu objeví ve významnější míře opět pouze v důsledku nevhodných vstupních surovin či nedodržení příslušných provozních zásad.

Obavy veřejnosti tak většinou pramení buď z neznalosti, nebo ze špatných zkušeností s několika konkrétními provozy, ve kterých ovšem nebyly respektovány výše zmíněné zásady (z praxe jsou známy například: nezatřešení homogenizační jímky, špatné konstrukční řešení příjmového objektu, nefungující odsávací zařízení a další). Někdy je také bioplynová stanice neprávem považována za zdroj zápachu, který pochází z přilehlého objektu – typicky například zápach vepřína sousedícího se zemědělskou BPS.

K uvolňování pachových látek dochází nejvíce z otevřených ploch. Princip vychází z difuze pachových látek do prostředí. Uvolňování pachových látek z otevřené plochy nádrže napomáhá vítr nad nádržemi, který narušuje difusní vrstvu a podporuje další vymývání pachových látek z plochy nádrže (CECM, 2009).

5. BIOPLYNOVÁ STANICE ÚPICE

Na úvod této části považuji za nutné uvést, že veškeré informace o provozu BPS Úpice prezentované v této práci jsem načerpal při pravidelných návštěvách na stanici, konzultacemi s operátorem stanice panem Karlem Srnou a také z Provozního řádu BPS Úpice.

5.1 Základní údaje

Bioplynová stanice při městské čistírně odpadních vod Úpice (dále jen BPS Úpice) je zařízením, kterým se město Úpice rozhodlo řešit otázku zpracování velkého množství posekané trávy z údržby městské zeleně a rovněž zpracování zbytkového kalu z čistírny odpadních vod. Úpice se nachází cca 10 km jihovýchodně od města Trutnov v Královéhradeckém kraji. Bioplynová stanice se nachází na jižním okraji města (viz obrázek - příloha č. 5). Na projekt výstavby BPS získalo město 65% prostředků z evropského fondu Operační program infrastruktura, zhruba 9% ze Státního fondu životního prostředí, a zbytek projektu financovali částečně Krajský úřad Královéhradeckého kraje a město Úpice. Stanice byla uvedena do

zkušebního provozu 30.12.2007, od 1.7.2009 již funguje v režimu trvalého provozu na základě platného Souhlasu k provozování zařízení k využívání odpadu vydaného Odborem životního prostředí a zemědělství a technické ochrany životního prostředí Královéhradeckého kraje. Zařízení spadá do kategorie "ostatní" bioplynová stanice (dle Metodického pokynu MŽP, 2008), protože jsou v něm zpracovávány jak odpady komunální, tak i průmyslové a zemědělské (viz níže kapitola o zpracovávaných materiálech). V tabulce 8 jsou uvedeny základní provozní a technické údaje BPS Úpice.

Tab. 8: Projektované základní provozní a technické údaje o BPS Úpice (podle Ekora, 2008)

Elektrický výkon	150 kW
Tepelný výkon	192 kW
Produkce bioplynu:	54 m ³ /hod
Počet provozních hodin kogenerační jednotky	cca 8 300 h/rok
Vyrobené množství el. energie	cca 780 000 kWh/rok
Kapacita zařízení	max. cca 15 000 m ³ vsázky/ rok*
Produkce odvodněného digestátu (při 25% obsahu sušiny)	cca 2 500 t/rok
Charakter technologie	jednostupňová, tzv. "mokrý" fermentace; semikontinuální dávkování
Obsah sušiny ve vstupní surovině	8 – 12% hm.
Teplotní režim methanizace	mezofilní
Projektovaná doba zdržení substrátu ve fermentoru	28 dní

*pozn. na základě projektované maximální denní vsázky 41 m³ denně (Srna,úst. sdělení, 2010)

5.2 Technický popis zařízení

BPS Úpice se skládá z příjmového objektu (příjem tuhých i kapalných odpadů), ve kterém je umístěna mostová váha, násypka se šnekovým dopravníkem, další dopravníky (dva šnekové, jeden pásový), detektor kovů, drtič odpadu, hygienizační linka (2 pastéry s akumulací nádrží) a rekuperační výměník tepla, dále z homogenizační nádrže, vlastního fermentoru s integrovaným plynojemem, z uskladňovací nádrže, technologie odvodnění fermentátu a kogenerační stanice.

Před příjmovým objektem bioplynové stanice se nachází **skladovací a manipulační**

venkovní plocha. Zde je přechodně skladována čerstvá, resp. silážovaná tráva nebo jiná fytomasa před jejím nadávkováním do systému. Vstupní suroviny jsou do **příjmového objektu** dopravovány uzavřenými kontejnery (rizikové odpady), případně na korbách aut (fytomasa) a v cisternách (kapalné odpady). Pevný bioodpad je nejdříve dopraven dvojicí reverzačních šnekových dopravníků a reverzačním pásovým dopravníkem do drtiče, který jej má rozmělnit na jemnější frakci (max. velikost částic 12 mm). Ta je dále dopravena reverzačním šnekovým dopravníkem do homogenizační nádrže. Dopravníky a drtič jsou navíc vybaveny snímači otáček pohonů. Nad pásovým dopravníkem je umístěn detektor kovů, který zjišťuje přítomnost kovů v přijímaném bioodpadu a při jejich detekci následně zastaví jeho příjem a tím zabrání pádu kovového předmětu do drtiče. Tekutý bioodpad je přijímán ve stejné příjmové hale jako odpad pevný. Je čerpán potrubním systémem, na který se napojí výtok z cisterny přímo do homogenizační nádrže. Výjimku tvoří kaly z místní ČOV. Ty jsou do homogenizační nádrže čerpány přímo z čistírny odpadních vod.

Z příjmu surovin přicházejí bioodpady do **homogenizační nádrže** (kruhová, zakrytá železobetonová nádrž o celkovém objemu 208 m³ (průměr 7 m, výška 5,4 m), je míchána míchadlem). V homogenizační nádrži dochází k naředění bioodpadů kalem z ČOV nebo vyčištěnou vodou z výstupu ČOV na optimální sušinu. Do homogenizační nádrže jsou také přímo čerpány odpadní tuky a „polotekuté“ bramborové slupky z automobilových cisteren. Vzniklý substrát má sušinu 8 - 12 % (v závislosti na složení přijatých surovin). Hladina v homogenizační nádrži je snímána ultrazvukovým snímačem. Teoreticky možná doba zdržení vstupních surovin v homogenizační nádrži je maximálně 9 dní. V praxi je však tato doba kratší (aby nedocházelo k předčasnému biologickému rozkladu organických látek substrátu). pH směsi vstupních surovin v homogenizační nádrži by se mělo držet mezi hodnotami 5 – 8. Homogenizovaný bioodpad (dále jen substrát) je z homogenizační nádrže čerpán na vstup do **hygienizační linky**, skládající se ze dvou pastérů (nerezové hygienizační nádoby). Každý z pastérů je míchán vlastním míchadlem. V obou pastérech jsou snímány údaje o teplotě a úrovni hladiny. Ohřev pastérů zajišťuje okruh topné vody (dále jen TV). Okruh pracuje v režimu: „ohřev_pastéru1/ohřev_pastéru2/rekuperace“. Doba zdržení zpracovávaného materiálu v pastéru je minimálně 60 min. při teplotě 70 °C. Substrát přichází z hygienizace na vstup do

fermentoru. Vlastní **fermentor** (bioreaktor) je kruhová opláštěná železobetonová nádrž, jejíž součástí je integrovaný plynojem a dvě strojovny, které se nachází ve zděném přístavku přistavěném k fermentoru. Průměr fermentoru činí 14 m a výška 10,5 m. Jeho celkový objem je 1616 m³ a je míchán dvěma míchadly. Při porovnávání projektovaných a skutečných parametrů fermentoru vyšlo najevo, že údaje o pracovním objemu fermentoru vykazují nesrovnalosti. Konkrétně je kalový prostor fermentoru uvedený v dokumentaci 1200 m³, avšak z technického výkresu byl tento prostor vypočítán na 1375 m³ (Straka, Lacek, 2008). Ve strojovně fermentoru je umístěn šroubovicový tepelný výměník voda/kal, který slouží pro dohřev substrátu na požadovanou teplotu. Cirkulaci vyhnívajícího substrátu přes výměník zajišťuje čerpadlo. Ve strojovně je dále umístěno čerpadlo odčerpávající vyhnílý substrát (dále jen fermentát) do uskladňovací nádrže. Projektovaná doba zdržení materiálu (substrátu) ve fermentoru je 28 dní při teplotě 37 – 42 °C (teplota vhodná pro mezofilní bakterie). pH by při správně fungujícím biologickém procesu mělo být neutrální. Součástí fermentoru je i **plynojem**, který je umístěn v jeho horní části a jehož objem je 350 m³. Množství naplnění plynojemu v procentech snímá snímač plynu. Veškerá zařízení plynojemu jsou umístěna ve **strojovně plynojemu**. Celý prostor strojovny je zařazen dle ČSN EN 60079-10 do zóny 2. Ve strojovně se nachází sběrná jímka, ve které končí veškeré vody a kondenzáty odcházející z technologie (včetně odvodňování bioplynu). V ní je umístěno čerpadlo, které zajišťuje automatické odčerpávání těchto vod do příjmového objektu v závislosti na hladině snímané plováky ve sběrné jímkce.

Uskladňovací nádrž je kruhová železobetonová nádrž, která se nachází za objektem sociální a provozní budovy BPS Úpice. Jedná se o nadzemní nádrž o průměru 10 m a výšce 4,5 m. Její celkový objem je 353 m³. Fermentát přichází z fermentoru na vstup uskladňovací nádrže, která je míchána míchadlem. Hladinu fermentátu v nádrži snímá ultrazvukový snímač. Tato nádrž byla z důvodu omezení pachových emisí zastřešena v květnu 2009. Odvodnění substrátu zajišťuje **odvodňovací odstředivka** (centrifuga) umístěná v místnosti kalového hospodářství, která je součástí objektu sociální a provozní budovy. Součástí zařízení na odvodnění substrátu je i chemické hospodářství na dávkování flokulantu. Pro vyloučení případného rizika zápachu při odvodňování fermentátu je odstředivka umístěna v uzavřeném prostoru. **Kogenerační jednotka (KGJ)** je umístěna společně s hygienizací v příjmovém objektu. Součástí kogenerace je i

teplovodní kotel, který slouží k dohřívání topné vody potřebné pro chod technologie a ke spalování zbytkového plynu v době jeho přebytku nebo výpadku případně servisní odstávky kogenerační jednotky. Výkon kogenerační jednotky je řízen v závislosti na hladině bioplynu snímané v plynojemu. **Teplovodní kotel** musí zajistit spálení veškerého bioplynu uskladněného v plynojemu nepoužitého pro ohřev technologické vody a výrobu elektrické energie a v podstatě tak nahrazuje hořák zbytkového plynu (fléru) v případě, že dojde k poruše KGJ a nebo je vývin bioplynu takový, že KGJ i při plném výkonu nestačí bioplyn spotřebovávat. Topná voda (dále jen TV), ohřátá v KGJ a případně v teplovodním kotli, je smíchána v rozdělovači, kde je snímán její tlak a teplota. Rozdělovač je zdrojem ohřáté vody teplé 90 °C pro dva sekundární okruhy. Jednak okruh ohřevu pastérů hygienizace, jednak okruh ohřevu substrátu v kalovém výměníku umístěném ve strojovně fermentoru.

Odtah par ze zařízení pro příjem bioodpadu zajišťuje ventilátor umístěný u biofiltru. Prostor haly je odsáván na **biofiltr** (biologický filtr). Ten dodala firma VZAK-Staffa a spol. Náplň filtru je rašelina a kůra (a na těchto nosičích imobilizované mikroorganismy). Objemový průtok lze regulovat – obvyklý průtok činí 1200 m³/h. V biofiltru je instalována soustava trysek pro zvlhčování jeho aktivní náplně. Aby byla ještě více eliminována možnost pachových emisí, rozšíří se soustava trysek tak, aby obsáhly celou plochu filtru (podle Ekora, 2008).

5.3 Charakteristika vstupních surovin

Seznam odpadů, které je možné v zařízení zpracovávat uvádí tabulka č. 9

Tab 9: Odpady, které lze zpracovávat v BPS Úpice (podle katalogu odpadů - příloha č. 1 vyhlášky MŽP 381/2001 Sb., v platném znění) a vedlejší živočišné produkty podle nařízení EP č. 1774/2002 (podle Ekora, 2008)

Kód odpadu	Název odpadu podle katalogu odpadů
020101	Kaly z praní a čištění
020102	Odpad živočišných tkání
020103	Odpad rostlinných pletiv
020106	Zvířecí trus, moč a hnůj (vč.znečištěné slámy)

020201	Kaly z praní a čištění
020202	Odpad živočišných tkání
020204	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
020305	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
020399	Odpady jinak blíže neurčené
020403	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
020603	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
190812	Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod
190809	Směs tuků a olejů z odlučovače tuků obsahující pouze jedlé oleje a tuky
200108	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
200125	Jedlý olej a tuk
200302	Odpad z tržišť
200304	Kal ze septiků a žump
*	Vedlejší živočišné produkty kategorie 3 dle nařízení EP č. 1774/2002

Dále uvedu stručnou charakteristiku odpadů, zpracovávaných v BPS Úpice v roce 2009:

Kal ČOV

Jedná se o směs kalů ze sousedící čistírny odpadních vod Úpice. Dle rozborů činí obsah sušiny pouze 1 – 2%.

Bramborová pasta

Bramborová drť (kaše) z továrny na zpracování brambor. Odhad obsahu sušiny cca 10%.

Škrobová voda

Voda z oplachování brambor v továrně na zpracování brambor. Tekutina téměř bez nerozpuštěných látek, s obsahem škrobu.

Kejda + krev

Většinu takto evidovaného materiálu tvoří krev z porážky hovězího dobytka a vepřů. Zároveň je pod tímto názvem evidován také významný objem tuků z masné výroby. Kejda tvoří pouze malou část odpadu evidovaného pod tímto názvem.

Lapoly

Jedná se o obsahy lapolů a lapačů tuků.

Siláž

Z 60% se zde jedná o siláž travní. 37% objemu této kategorie tvoří siláž kukuřičná a zbývající malá část připadá na tzv. odpadní řepné řízky z opracování cukrové řepy.

Tráva

Jedná se o nesilážovanou posekanou travu z údržby veřejných ploch v Úpici. Někdy je tato tráva skladována venku a dojde tak k částečnému aerobnímu rozkladu tohoto substrátu.

Obsahy bachorů

Obsahy trávícího ústrojí skotu – především rozžvýkaná a natrávená píce.

Brambory

Odřezky brambor a zkažené brambory z továrny na zpracování brambor.

Kuchyně

Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven (tzv. gastro odpad).

BIO

Jedná se o odděleně sebraný biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) z města Úpice.

5.4 Problematika provozu

BPS Úpice je v provozu relativně krátkou dobu a tak provozovatelé stanice ještě "dolad'ují" vlastní provoz zařízení a řeší několik potíží s ním spojených. Jedná se především o špatně fungující příjmový objekt. Násypka drtiče má menší objem než byl projektován a při vyklopení plného kontejneru přetéká, dále šnekový dopravník v násypce nedokáže dopravovat např. trávu, která se, pokud je delší, namotává do kovového šneku. Naopak když je materiál řídký (např. odpad z kuchyní a stravoven), šnek řídkou látku není schopen dopravit dále. Tuhé látky se ucpávají v přechodu z horizontálního do vertikálního šnekového dopravníku a způsobují jeho úplné ucpání, které jde uvolnit pouze s velkými obtížemi. V zařízení je instalován detektor kovu, ale ukázalo se, že největší potíže při provozu jsou s kamením, k jehož detekci detektor kovů neposlouží. Drtič nedrtí na požadovanou velikost, která je předepsána v předpisech a není vůbec schopen nadrtit maso a mnoho dalších materiálů. Slabinou drtiče je také značné opotřebení lopatek, které je potřeba při plném provozu zhruba každých 6 týdnů měnit, přičemž cena jedné sady lopatek je 30 000 Kč. V průběhu prvního roku provozu, kdy drtič zpracovával cca 20% zpracovávaného materiálu, bylo nutno dvakrát měnit ložiska rotoru a jedenkrát došlo k destrukci vnitřního pláště. Další šnekový dopravník vedoucí z drtiče do homogenizační nádrže se rovněž ucpává, jindy se stává, že řídký materiál šnek nepobere a materiál vyteče na podlahu okolo drtiče. V celém příjmovém objektu nejsou odtokové kanálky na oplach podlah a jímka na odčerpávání vody je nedostatečná.

V srpnu 2009 bylo z iniciativy operátora nainstalováno přídatné zařízení QuickMix, které konečně umožnilo přidávat alespoň určité množství trávy do homogenizační nádrže. Tento stroj na zapracování trávy do vody však nenahrazuje v plné míře kvalitní drtič, protože nedokáže dostatečně nasekat delší trávu. Přidávána je tedy pouze tráva drobnější, kterou stroj smíchává s vodou a vytváří tak vhodnou směs pro přidání do homogenizační nádrže. V současné době provozovatel BPS Úpice plánuje přestavbu příjmového objektu tak, aby vyhovoval požadavkům provozu.

V březnu 2009 byla zjištěna závada v podobě prasklého plynojemu – není známo, kdy závada vznikla ani kolik plynu trhlinou v plynojemu unikalo. Závadu se podařilo opravit během března 2009.

6. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- 1) Posouzení vhodnosti využití digestátu produkovaného BPS Úpice jako hnojiva v souvislosti s platnou legislativou.
- 2) Na základě dat získaných z provozní evidence BPS Úpice identifikovat nejvhodnější substráty z hlediska produkce bioplynu.
- 3) Celkové posouzení provozu BPS Úpice.

7. METODIKA

7.1 Posouzení kvality digestátu

Vzorky tuhého digestátu (zbytku po odstředění materiálu vystupujícího z fermentoru) z BPS Úpice byly odebírány v období prosinec 2008 až prosinec 2009. Digestát byl odebrán z uskladňovacího kontejneru, přímo na výstupu z odstředivky (viz obrázky příloha č. 6). Z důvodu velké náročnosti provedení chemických rozborů takto komplexního materiálu byly rozборы dělány na zakázku – část v akreditované laboratoři v ÚNS laboratorní služby Kutná Hora, část v provozní laboratoři na VŠCHT v Praze. Pro hodnocení byly použity i rozборы z provozních laboratoří, zadané provozovatelem.

Rozборы byly provedeny normovanými metodami (viz ukázka protokolu rozboru – příloha č. 8). Obsah molybdenu nebyl ve vzorcích stanoven. Vzorky odebrané v prosinci 2009 byly odeslány k analýzám do laboratoře, výsledky těchto rozborů se však dosud nepodařilo získat. Pro získání komplexního pohledu byly nepravidelně odebírány také vzorky kalu ČOV, vkládaného do BPS Úpice, dále vstupní směsi vložené do fermentoru a neodstředěného digestátu. Výsledky rozborů byly porovnány s limitními hodnotami rizikových prvků uvedenými v příloze č. 1 vyhlášky č. 474/2000 Sb. Limitní hodnoty pro PAU a PCB byly převzaty z vyhlášky 257/2009 Sb. o používání sedimentů na zemědělské půdě - tyto ukazatele předpisy o hnojivech zatím nezohledňují. Domnívám se však, že jde o důležité ukazatele a proto byly posouzeny alespoň podle tohoto předpisu, protože fyzikálně-chemické vlastnosti sedimentů jsou blízké vlastnostem digestátu. Souhrn limitních hodnot z obou vyhlášek uvádí tabulka 10:

Tab. 10: Souhrn limitních hodnot stanovených vyhl. 474/2000 Sb. a vyhl. 257/2009 Sb.)

Ukazatel	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	PAU	PCB
Maximální hodnota [mg.kg⁻¹ sušiny]	20	2	100	150	1	20	50	100	600	6	0,2

7.2 Zpracování dat z evidence provozu bioplynové stanice

Jako podklady pro zpracování dat byly použity údaje o spotřebě bioplynu, objemu celkové vsázky a množství jednotlivých vložených odpadů, evidované každodenně operátorem BPS Úpice. Rád bych na tomto místě uvedl, že ačkoliv je dle mého názoru evidence těchto údajů vedena operátorem BPS Úpice pečlivě, je třeba mít na paměti, že se jedná o odpadní materiály. V oboru nakládání s odpady je obecně evidence údajů o množství a složení odpadů vždy obtížnější a někdy založená pouze na kvalifikovaném odhadu.

Evidovaná data byla podrobena kontrole a ve spolupráci s operátorem BPS Úpice byly odstraněny zjevně chybné údaje (např. záporná hodnota u vložené vsázky v jednom dni). Ačkoliv byly sledování provozu a odběry vzorků digestátu pravidelně prováděny již od prosince 2008, jsou v této práci zpracovávána data za období červen až prosinec 2009. To má dva důvody:

1. Trhlina v plynojemu, která způsobila úniky plynu. Tato závada pak mohla významným způsobem ovlivnit evidované údaje o produkci bioplynu. Trhlina byla zjištěna 16.3.2009, ale není možné odhadnout, od kdy byl plynojem takto porušen. Oprava plynojemu proběhla v březnu 2009, závada tak byla odstraněna.
2. Několik chybných hodnot v evidenci celkové vsázky za měsíc květen 2009. Z tohoto důvodu a z důvodu nutnosti zachování kontinuity dat byly vyřazeny měsíce duben a květen.

Produkce bioplynu evidovaná za určitý den je ve skutečnosti produkce bioplynu měřená od 8:00 předcházejícího dne do 8:00 daného dne (např. produkce bioplynu evidovaná u data

10.6. je produkce bioplynu od 9.6. 8:00 do 10.6. 8:00). V podkladech pro regresní analýzu jsem tedy u bioplynu uvažoval posunutí o jeden den (jako hodnotu pro např. 10.6. jsem použil hodnotu evidovanou u data 11.6., atp.). Dále je nutno zmínit, že evidované údaje o bioplynu jsou údaje o spotřebě bioplynu v kogenerační jednotce (teplovodní kotel je využíván pouze výjimečně - za rok jsou v něm spáleny pouze řádově promile z celkově vyrobeného bioplynu), nikoliv údaje o čisté produkci bioplynu ve fermentoru. Rozdíl mezi bioplynem produkováným a bioplynem spotřebovaným je však v rámci jednoho dne nevýznamný, protože veškerý produkováný bioplyn je spalován právě v kogenerační jednotce a skladovací prostor neumožňuje vytváření dlouhodobějších zásob – denní spotřeba je tedy přímo úměrná denní produkci. Pokud tedy v této práci uvádím údaje o množství bioplynu produkováného v BPS Úpice, mám na mysli produkci zjištěnou na základě spotřeby bioplynu v KGJ.

Podobná situace je i u údajů o množství jednotlivých odpadů, vstupujících do procesu. Evidována jsou množství jednotlivých odpadů, která byla v daný den napuštěna do homogenizační nádrže, nikoliv přímo do fermentoru. Evidované množství určitého odpadu za určitý den je tedy množství, které bylo přidáno do směsi, aktuálně uložené v homogenizační nádrži. V homogenizační nádrži dochází k mísení nově přidaného materiálu se stávajícím obsahem, takže lze důvodně předpokládat, že již alespoň část z nově dodaného materiálu se tentýž den dostává do fermentoru a podílí se ten samý den i na produkci bioplynu. Měrná hmotnost vsázky není přesně známa, avšak s ohledem na převažující množství vody ji lze přibližně odhadnout na hodnotu mírně převyšující 1 t/m^3 . Víme, že průměrná denní dodávka vsázky z homogenizační nádrže do fermentoru činila 35 m^3 . Zároveň průměrná denní dodávka všech odpadů do homogenizační nádrže činila 30,9 tuny, což po přepočtu přibližně odpovídá hodnotám kolem 35 m^3 . Nedomáhá se tedy k výraznějšímu zdržení materiálu v homogenizační nádrži. Odpady evidované za určitý den jsou vkládány do fermentoru již ten samý den, avšak smíchané s obsahem, který zbyl v homogenizační nádrži z předchozích dnů. Celý obsah homogenizační nádrže se v roce 2009 vyměnil v průměru každých 5,7 dní. Při normálním provozu šlo z homogenizační nádrže přes pastér do fermentoru pravidelně po celých 24 hodin každé zhruba 4 hodiny 6 m^3 směsi.

Pokud máme stanovit závislost mezi produkováným množstvím bioplynu a složením

vsázky neboli to, zda některý druh odpadu ovlivňuje produkci bioplynu významněji než jiný, musíme nějakým způsobem zohlednit mísení směsi vstupující do fermentoru na časové škále alespoň 6 dní. Doplňující informací k tomu je sdělení operátora BPS Úpice, že dodávky jednotlivých odpadů probíhají víceméně v opakovaných cyklech jednoho pracovního týdne.

Z publikovaných prací (např. Kára, Pastorek, Příbyl, 2007) i ústních sdělení operátorů (Srna, Semerád, úst. sdělení, 2009) je známo, že většina odpadů ve fermentoru reaguje tak, že mají krátce (jednotky hodin) po svém vložení do fermentoru vliv na tvorbu BP a bioplyn se z nich tvoří ještě po dobu několika dalších dní.

Míra naplnění a tedy i objem materiálu momentálně uloženého v homogenizační nádrži se s časem mění a ačkoliv, jak již bylo uvedeno, vykazují určitý týdenní chod v závislosti na dodávkách jednotlivých odpadů, na studované stanici je nemonitorují. Víme pouze, že míra naplnění homogenizační nádrže kolísá mezi 30 - 90% objemu, tedy mezi objemy směsi 60 až 180 m³. Nelze tedy kvantifikovat, jaký je poměr objemu odpadů vložených za daný den ku objemu směsi, která již v homogenizační nádrži byla. Navíc jednotlivé odpady nejsou do homogenizační nádrže vkládány najednou, ale jednotlivě v průběhu dne a zároveň se v průběhu dne z této nádrže odpouští do fermentoru. Protože v datech chybí podrobnější měření během dne, není možné tyto vztahy přesně popsat.

Pro zpracování dat jsem zvolil metodu klouzavých součtů, protože při vhodně zvoleném integračním intervalu (tedy počtu dní, za který sčítáme určité hodnoty) tak můžeme získat hodnoty, které odrážejí vliv odpadů, významněji přispívajících na tvorbu BP, a zároveň se zohlední také to, že jejich reaktivita trvá i několik dní. Součtem se rovněž zamezí matoucímu vlivu faktu, že u některých odpadů pozorujeme velmi nepravidelné rozložení dodávek v čase (např. několik dní se daný odpad nevkládá vůbec, poté jeden den velké množství, poté se opět nevkládá vůbec). Křivky v grafech při použití vícedenních součtů také lépe ilustrují trendy v produkci BP než by tomu bylo při použití každodenních údajů.

Volbu integračního intervalu tedy určují následující fakta:

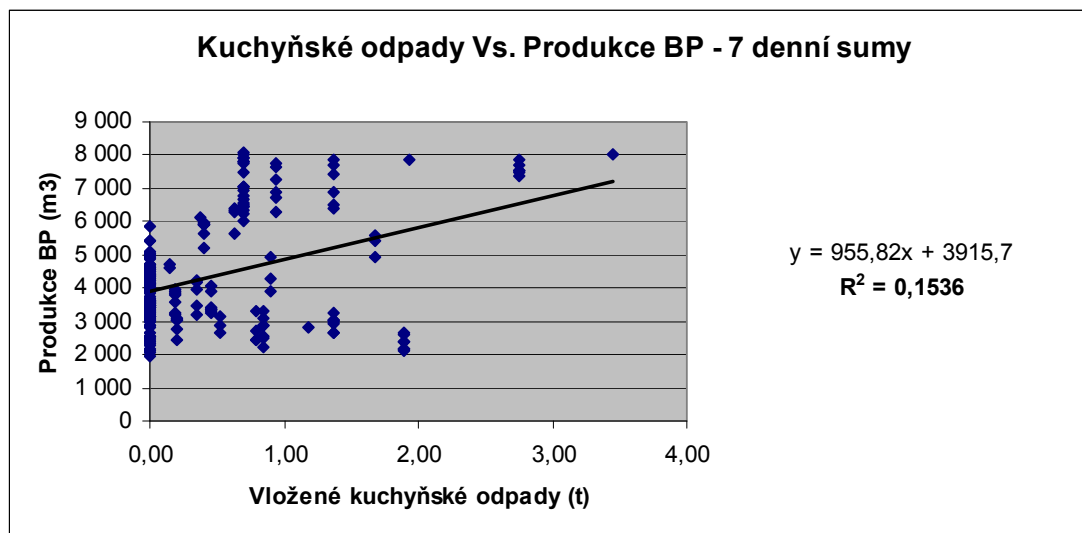
1. Odpady ovlivní tvorbu BP již krátce po svém vložení do fermentoru – dolní mez intervalu = 1 den
2. Obsah homogenizační nádrže se vymění průměrně za 5,7 dní

3. Opakovatelný cyklus dodávek odpadů je obvykle 1 kalendářní týden

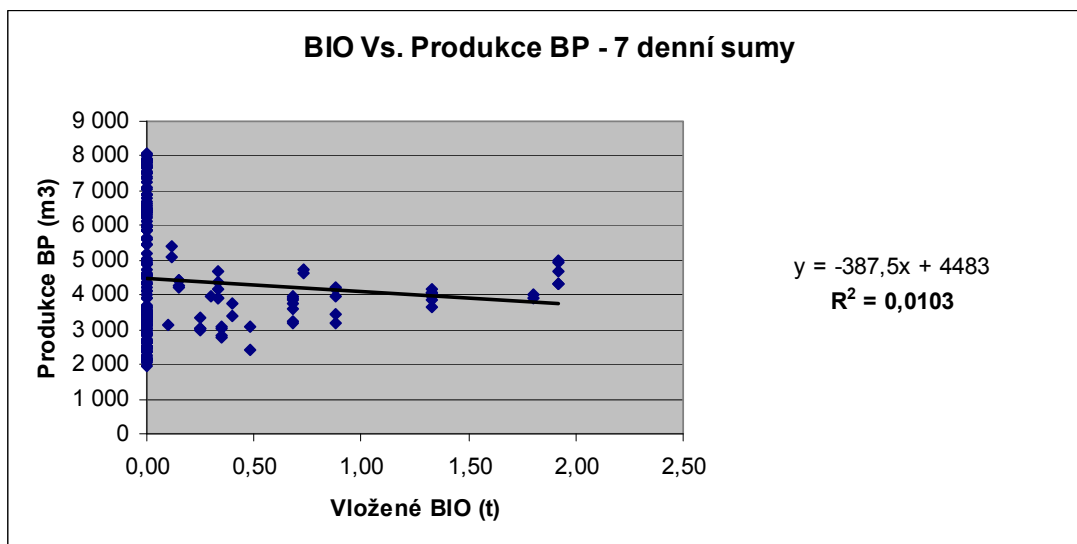
Na základě výše uvedeného jsem pro zpracování dat zvolil integrační dobu 7 dní s krokem posunutí tohoto intervalu 1 den. Delší interval by vzhledem ke zmíněnému cyklu 7 dní již příliš smazal změny, které data obsahují.

Denní hodnoty pro kal ČOV jsou evidovány v metrech krychlových. Z důvodu srovnatelnosti s ostatními odpady, které jsou evidovány v tunách, byly evidované hodnoty přepočteny rovněž na tuny. Z literatury byla zjištěna hodnota měrné hmotnosti sušiny kalu 2 171 kg/m³, z níž byla následně vypočítána hustota kalu použitého v BPS Úpice (při uvažovaném průměrném obsahu sušiny 1,5%). Měrná hmotnost použitá pro přepočet tedy činí 1,0175 t/m³.

Takto připravená data byla zpracována v programu Microsoft Excel. Byla použita metoda mnohonásobné lineární regrese (funkce LINREGRESE), přičemž jako závisle proměnná (y) byly brány sedmidenní součty produkce bioplynu a jako nezávisle proměnné (x₁ až x₁₁) sedmidenní součty hmotností jednotlivých odpadů sečtené za stejná období jako produkce bioplynu (viz ukázka podkladů pro regresi - příloha č. 3). Pro celkovou regresní analýzu dat byly odstraněny proměnné "kuchyně" a "BIO", protože vysvětlení jejich vlivu na produkci BP pomocí lineární regrese není vhodné (viz nízký koeficient determinace r² na obrázcích 5 a 6) a tyto proměnné by matoucím způsobem ovlivnily mnohonásobnou lineární regresi.



Obr. 5: Graf závislosti produkce bioplynu na vloženém množství kuchyňských odpadů.



Obr. 6: Graf závislosti produkce bioplynu na vloženém množství BIO.

Tyto odpady byly navíc dávkovány pouze výjimečně a to v minimálních množstvích (viz součty jednotlivých odpadů – příloha č. 2).

7.3 Podklady pro celkové posouzení provozu BPS Úpice

Operátor BPS Úpice denně eviduje kromě výše uvedených údajů mimo jiné také objem materiálu vloženého přímo do fermentoru (celková vsázka) a výrobu elektřiny. Data z této evidence byla použita pro výpočet celkových charakteristik provozu za rok 2009. Na základě sedmidenních součtů údajů o celkové vsázce a produkci bioplynu byla pro všechny sedmidenní intervaly spočítána výtěžnost bioplynu. Z výše uvedených důvodů byly pro tento výpočet použity pouze hodnoty za období červen až prosinec 2009.

Údaje o celkové roční a průměrné denní vsázce jsou vypočítány na základě denních údajů za období 1. leden až 31. prosinec 2009. Je však potřeba brát tyto údaje s určitou tolerancí, protože evidence celkové vsázky v období leden až květen 2009 vykazuje nedostatky v podobě několika chybně změřených hodnot (objemy mnohonásobně vyšší než objemy, které byly skutečně vloženy do fermentoru – Srna, ústní sdělení, 2009). Operátor v evidenci poté kompenzoval tyto zjevně chybné hodnoty odečtem u dalších dní (záporné hodnoty u některých dní) tak, aby celková měsíční vsázka odpovídala skutečnému stavu.

Průměrná doba zdržení je vypočítána na základě průměrné denní vsázky a pracovního

objemu fermentoru. S ohledem na výše uvedené rozpory v údajích o objemu fermentoru jsem pro tento výpočet uvažoval průměrnou hodnotu objemu fermentoru 1288 m³.

Údaje o průměrné produkci bioplynu za hodinu byly vypočítány na základě dat za období následující po opravě prasklého plynojemů (1.duben až 31. prosinec).

8. VÝSLEDKY

8.1 Výsledky rozborů digestátu

Výsledky jednotlivých rozborů jsou uvedeny v tabulce v příloze č. 1.

Z průměrů stanovených hodnot (viz tabulka 11) vyplývá, že žádný ukazatel nepřesahuje limitní hodnoty pro rizikové látky stanovené legislativou. Vyjma zinku a PAU splňuje digestát tyto limitní hodnoty i v rámci směrodatné odchylky.

Tab. 11: Porovnání limitních hodnot a průměrných hodnot stanovených u vzorků digestátu

Ukazatel	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PAU	PCB
Max. hodnota dle předpisů [mg.kg ⁻¹ sušiny]	20	2	100	150	1	50	100	600	6	0,2
Průměr stanovených hodnot	2,55	0,48	12,25	69,6	0,44	10,03	42,28 (*)	525,5	5,7	0,07
Směr. odchylka	1,14	0,25	3,15	9,98	0,08	1,82	43,19 (*)	105,37	4,41	0,05

(*) pozn.: hodnoty ovlivněny mimořádnou událostí - viz. Diskuze

8.2 Zpracování a vyhodnocení dat

Provedená mnohonásobná regresní analýza závislosti produkce bioplynu na vložených množstvích jednotlivých typů odpadů poskytla následující výsledky:

Tab. 12: Výsledná matice mnohonásobné lineární regrese

MNOHONÁSOBNÁ LIN. REGRESE (bez kuchyně a BIO)

	brambory	obsah bach.	tráva	siláž	lapoly	kejda+krev	škr. Voda	br. Pasta	kal ČOV	
1	54,154826	79,0327	19,764396	75,81932	-12,38127	62,177664	66,975926	8,3399829	-1,666789	1627,4444
2	36,360182	28,28783	4,8334841	5,77489	5,1114625	9,4052672	10,21499	7,8846043	1,6742567	318,54981
3	0,7297523	894,9005	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
4	58,806738	196	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
5	423856761	1,57E+08	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

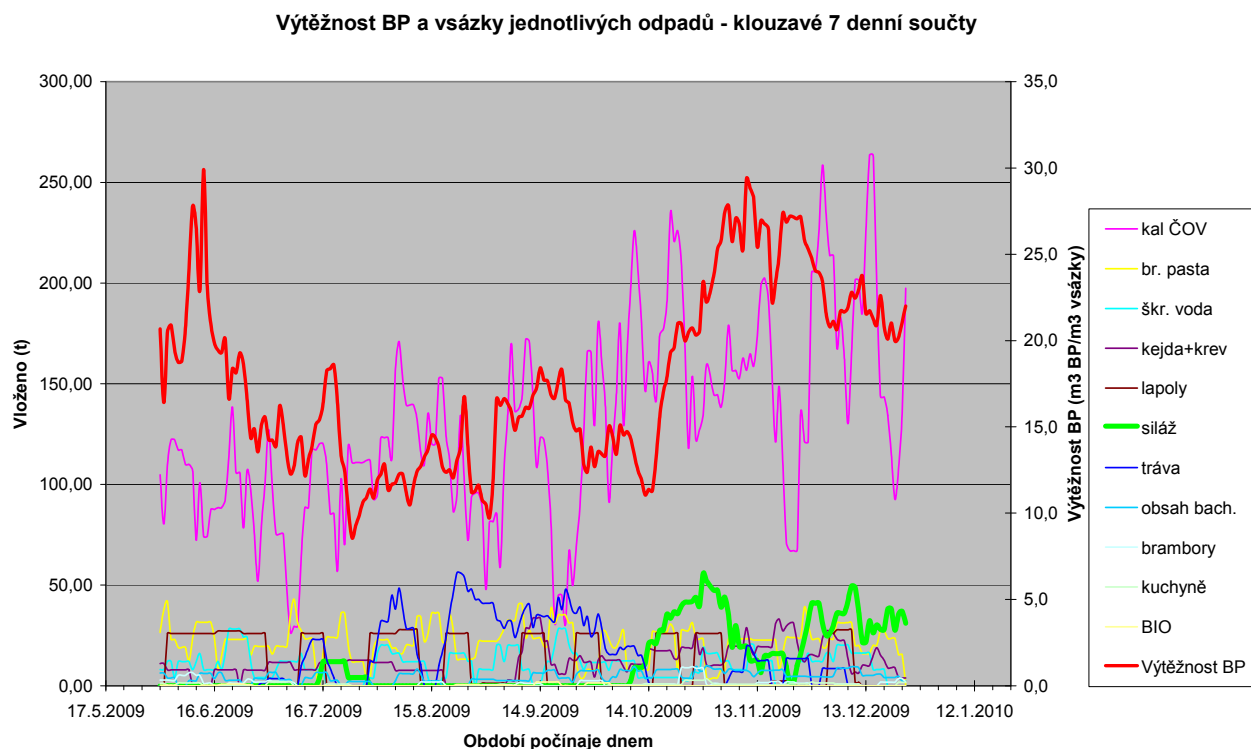
Tučně jsou v tabulce vyznačeny 2 nejvyšší hodnoty koeficientů nezávisle proměnných (1.řádek) a také hodnota koeficientu determinace r^2 (3.řádek).

Rovnice plynoucí z této analýzy má tedy tvar (v hranatých závorkách jsou uvedeny jména nezávisle proměnných, pro výpočet rovnice by se na jejich místa dosadila vložená množství v tunách):

$$y = 79,0327.[\text{obsahBach}] + 75,81932.[\text{siláž}] + 66,975926.[\text{škrVoda}] + 62,177664.[\text{kejdaKrev}] + 54,154826.[\text{brambory}] + 19,764396.[\text{tráva}] + 8,3399829.[\text{brPasta}] + (-1,666789.[\text{kalČOV}]) + (-12,38127.[\text{lapoly}])$$

Největší pozitivní vliv na tvorbu bioplynu tedy podle této analýzy mají odpady "obsahy bacherů" a "siláž" (nejvyšší koeficienty). Hodnota koeficientu determinace 0,73 pak znamená, že rovnice plynoucí z této regresní analýzy vysvětluje variabilitu dat ze 73%.

Přehledně vidíme vliv množství jednotlivých vložených odpadů na výtěžnost bioplynu na obrázku 7.



Obr. 7: Graf sedmidenních součtů jednotlivých vložených odpadů a výtěžnosti bioplynu

8.3 Podklady pro celkové posouzení provozu BPS Úpice

Celkové charakteristiky provozu za rok 2009

Celkové charakteristiky provozu uvádí tabulka 13. Pokud jsou známy projektované hodnoty, jsou v tabulce hodnoty za rok 2009 s těmito hodnotami porovnány.

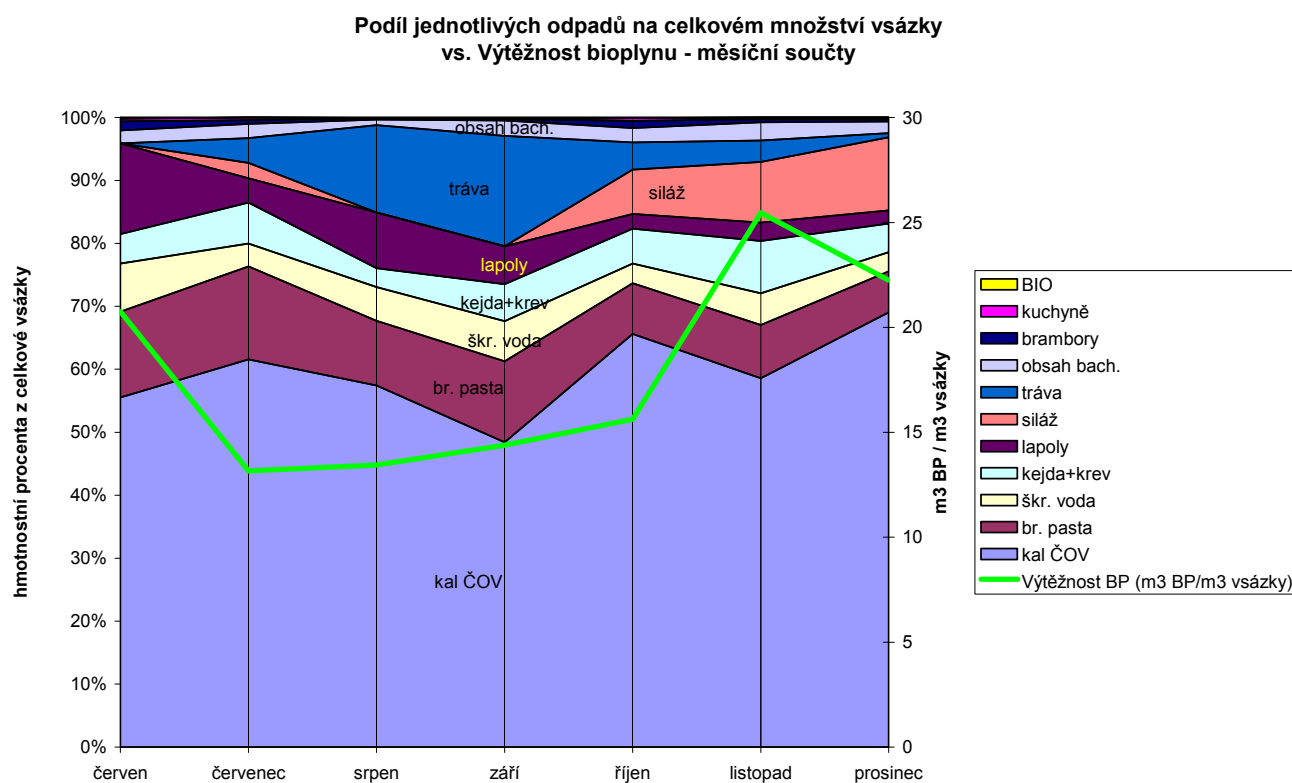
Tab. 13: Základní údaje o provozu BPS Úpice za rok 2009

	V roce 2009	Procenta z projektovaných hodnot
Vsázka celkem za rok	11 764 m ³	78%
Průměrná denní vsázka	32 m ³	78%
Průměrná doba zdržení materiálu ve fermentoru	40 dní	142%
Množství vyrobené elektřiny	321 293 kWh	41 %
Průměrná výtěžnost BP (na základě 06 - 12/2009)	17,8 m ³ BP/m ³ vsázky	není známo
Průměrná produkce bioplynu (na základě 04-12/2009)	27 m ³ /hod	50%

Hlavním záměrem provozovatele BPS je především zpracovat veškeré pravidelně i nepravidelně dodané odpady a také vyrobit co nejvíce bioplynu (a tedy i elektrické energie). Celkové množství vyrobené elektrické energie činí za sledovaný rok 2009 321 293 KWh, což je však pouze 41 % z projektovaného množství cca 780 000 kWh/rok. Teplovodní kotel na výrobu tepelné energie není téměř využíván.

Složení vsázky

Složení vsázky v průběhu roku je přehledně znázorněno na obr. 8. Z tohoto obrázku i z tabulky, uvádějící celkové měsíční a roční hmotnosti jednotlivých odpadů vstupujících do procesu (viz příloha č. 2), vyplývá, že kal z ČOV tvořil po celý rok minimálně 50 % hmotnosti vsázky a je tedy hlavním zpracovávaným substrátem. Druhým nejdůležitějším substrátem z hlediska hmotnostního podílu je bramborová pasta, která tvoří téměř 12 % hmotnosti celkové roční vsázky.



Obr. 8: Procentuální složení vsázky v průběhu roku 2009

Základní ukazatele kalu z ČOV Úpice a celkové vsázky vidíme v tab. 13.

Tab. 13: Základní ukazatele vkládaného kalu z ČOV a celkové vsázky – rozborů vzorků z 4.12.2008 a 14.5.2009

		% sušiny	pH	C:N
Kal z ČOV	4.12.2008	1,86	7,1	5,18
	14.5.2009	0,97	7,2	3,67
Vsázka vstupující do fermentoru	4.12.2008	3,14	4,6	8,52
	14.5.2009	2,98	5,3	10,3

Složení produkovaného bioplynu

Údaje o složení bioplynu produkovaného v BPS Úpice nebylo možné získávat přímo vlastním měřením z důvodu nedostupnosti potřebných měřících přístrojů. Jedná se však o důležitý indikátor stavu anaerobního procesu a také o důležitý srovnávací údaj – uvedu proto stručně alespoň údaje, naměřené externími spolupracovníky BPS Úpice v průběhu let 2008 až 2010.

Tab. 14: Složení bioplynu produkovaného v BPS Úpice

Datum	CH ₄	CO ₂	O ₂	Další údaje
14.6.2008	64%	34%	0,7%	H ₂ S = 0,026%
16.9.2008	63%	41%	0,4%	H ₂ S = 0,025%
22.9.2008	61,2%	37,2%	-	pH 7,45
8.12.2008	59%	40%	0,6%	-
12.2.2010	65%	32%	2%	-

9. DISKUZE

9.1 Posouzení digestátu

Výsledky rozborů ukazují, že digestát v žádném z ukazatelů (průměry) nepřesahuje limitní hodnoty pro rizikové látky stanovené legislativou. Ukazatele, jejichž hodnoty lze považovat za potenciálně "rizikové" jsou zinek a PAU. U zinku je limitní hodnota překročena v jednom vzorku (z 18.9.2009 – viz příloha č. 1). Zinek se do digestátu v BPS Úpice dostává s velkou pravděpodobností z konstrukce nesoucí míchací zařízení ve fermentoru (Srna, úst. sdělení, 2009). Pro srovnání lze uvést, že například u několika studovaných rakouských bioplynových stanic, zpracovávajících podobně jako BPS Úpice různé typy odpadů, se průměrná hodnota obsahu zinku v digestátu pohybuje okolo 400 mg.kg⁻¹ sušiny (Poetsch, Pfundtner, Hopfner-Sixt, 2007). Naproti tomu Váňa uvádí u digestátů z kukuřičné siláže odebraných na zahraničních bioplynových stanicích hodnotu obsahu zinku výrazně nižší - 54 mg.kg⁻¹ sušiny (Váňa, 2007).

U PAU jsou limitní hodnoty stanovené vyhláškou na sedimenty překročené dvakrát - 4.12.2008 a 18.9.2009, přičemž hodnota z 18.9. (12,6 mg.kg⁻¹) dosahuje dvojnásobek hodnoty limitu. Z nemnohých prací, sledujících obsah PAU v digestátu, lze zmínit Bernal-Martíneze et al., kteří sledovali vývoj obsahu PAU u kalu z ČOV zpracovávaného anaerobní digescí. Autoři uvádějí, že obsah PAU činil v hotovém digestátu 16,2 mg.kg⁻¹ (Bernal-Martínez et al., 2005). Je známo, že PAU se akumuluje v kalech z čištění odpadních vod (Trabaly, Patureau, 2006). Lze proto předpokládat, že i u digestátu z BPS Úpice budou PAU pocházet především z kalu z ČOV, případným dalším zdrojem by mohly být i některé odpady z potravinářského průmyslu.

Neobvykle vysoká hodnota u olova v rozboru z 18.9.2009 (115,6 mg.kg⁻¹) bude zřejmě způsobena například průnikem zubní plomby do odpadních vod nebo jinou podobně mimořádnou událostí (Benešová, úst. sdělení, 2010). Tomu napovídá fakt, že tato hodnota je téměř desetkrát vyšší než průměr hodnot ostatních rozborů.

Co se týče obsahu živin, vyhovuje digestát požadavkům na typové organické hnojivo dle vyhlášky - minimálně 25% spalitelných látek a 0,6% celkového dusíku. Ve sledovaných ukazatelích (celkový dusík, sušina, spalitelné látky, hodnota pH) vyhovuje i směrným hodnotám určeným Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (dle Podmínek

registrace hnojiva vydanými ÚKZÚZ pro BPS Úpice). Pouze hodnoty pH se pohybují kolem horní meze určené ÚKZÚZ (maximální pH = 8,5). Tento faktor však výrazně nesnižuje vhodnost použití digestátu jako hodnotného organického hnojiva.

9.2 Zpracování a vyhodnocení dat

Metoda mnohonásobné lineární regrese byla zvolena z toho důvodu, že umožňuje na základě dostupných dat číselně kvantifikovat, do jaké míry má určitý odpad vliv na produkci bioplynu. Výsledky provedené regresní analýzy dat indikují, že obsahy bachorů a siláž by měly být odpady, ze kterých se v BPS Úpice tvoří nejvíce bioplynu. Z těchto výsledků však nelze dělat jednoznačné závěry – provedený regresní model je pouze výrazně zjednodušeným přístupem ke zpracování dat z tohoto konkrétního provozu. Grafické analýzy závislostí jednotlivých vložených odpadů a produkce bioplynu (viz grafy, příloha č. 4) výraznější závislosti neukázaly. Mnohonásobná lineární regrese pak poskytla jen poměrně nízkou hodnotu koeficientu determinace ($r^2 \sim 0,73$). Nelze tedy spolehlivě říci, že by určitý odpad měl jednoznačně pozitivní či negativní vliv na tvorbu bioplynu. Jednotlivé nezávisle proměnné nelze považovat za zcela nezávislé, protože se podílí na tvorbě bioplynu v součinnosti. Zjištění toho, zda, a případně jak, se jednotlivé odpady ve vsázce vzájemně ovlivňují, je jistě velmi zajímavým podnětem k dalším výzkumům. Přes tyto nedostatky však uvedené výsledky odpovídají obecným poznatkům o výtěžnostech jednotlivých materiálů a lze je brát jako určité doporučení pro složení vhodné vsázky v BPS Úpice. Odpad evidovaný pod názvem siláž je přibližně z 60% tvořen siláží travní, která je známa dobrou výtěžností bioplynu (Mužík, Kára, 2009), a ze 40% siláží kukuřičnou, pomocí níž jsou dosahovány jedny z nejvyšších výtěžností bioplynu (Váňa, Ušák, 2009). U siláže jsou navíc výsledky regresní analýzy podobné s výsledky patrnými z grafického znázornění množství jednotlivých vložených odpadů a výtěžnosti bioplynu (obr 7). Křivky výtěžnosti bioplynu a vloženého množství siláže mají v tomto grafu podobný náběh k maximu okolo 5. listopadu 2009. Mnohonásobnou lineární regresi úspěšně použil ve svém výzkumu Gunaseelan, který v laboratorních podmínkách studoval vliv chemického složení substrátu (obsahu sacharidů, proteinů, ligninu a dalších chem. charakteristik) na maximální výtěžnost methanu (B_0) u odpadů z ovoce a zeleniny.

Navrhl několik regresních modelů, které na základě obsahu rozpustných uhlovodíků, vlákniny, poměru vláknina/lignin, obsahu dusíku a popelovin dovedou s vysokou úspěšností ($r^2 > 90$) předpovídat maximální výtěžnost methanu z určitého substrátu (Gunaseelan, 2007). Záměrem mé práce však bylo zkoumat anaerobní digesce v provozních, nikoliv laboratorních podmínkách, což s sebou nese četná úskalí a nutnost použít zjednodušené přístupy. **Provedenou mnohonásobnou regresi je proto třeba brát pouze jako první krok na cestě k postižení závislosti mezi složením vsázky a produkcí bioplynu zjištěných z konkrétních provozních dat.** Četní autoři (např. Ward et al., 2008, Mata-Alvarez et al., 2003, Liu et al., 2008) volají po nutnosti vypracování dynamických modelů, které by umožnily přesněji popsat proces anaerobní digesce a následně tak umožnily i lépe navrhovat a řídit komerční provozy. Realizace těchto modelů je však poměrně náročná a jejich použití na studované BPS Úpice brání především absence sledování některých důležitých parametrů procesu. Ward et al. uvádějí, že pokud je k dispozici spolehlivý model konkrétního technického provozu, měl by být rozhodně použit pro jeho řízení. Pokud je k dispozici velké množství dat, ale neexistuje spolehlivý model daného provozu, lze použít metodu umělých neuronových sítí. Tam, kde nejsou k dispozici ani data, ani model, ale máme praktické zkušenosti s provozem, zmiňují autoři i jakýsi "selský rozum" (v angl. originále "fuzzy logic"), jako vhodnou možnost, jak provoz řídit (Ward et al., 2008). Rovněž je zmiňována potřeba navrhnout metodu, která by umožnila lépe charakterizovat vsázky, vstupující do jednotlivých provozů (Mata-Alvarez et al., 2003).

9.3 Celkové posouzení BPS Úpice

Z výše uvedených údajů vyplývá, že především množstvím vyráběné elektrické energie BPS Úpice dosud nenaplnuje svůj potenciál. Celkové množství vyrobené elektřiny činilo v roce 2009 321 293 kWh, což je pouhých 41% z předpokládaného množství. Rovněž průměrná produkce bioplynu za hodinu je pouze poloviční ve srovnání s předpokládanou hodnotou. Lze se jistě domnívat, že předpokládané hodnoty byly poněkud nadsazeny, avšak rozdíly mezi předpokládanými a reálnými ročními hodnotami jsou natolik výrazné, že lze i přesto říci, že provoz zatím nedosáhl své optimální efektivity. Důvodů proč tomu tak je může být několik.

Tím nejvýznamnějším se jeví **nedostatečný obsah sušiny ve vstupující vsázce**. Naměřené hodnoty kolem 3% jsou velmi blízké dolní hranici, pod kterou již proces anaerobní digesce probíhá s negativní energetickou bilancí. Optimální obsah sušiny pro zpracování tekutých odpadů je uváděn 8 – 14% (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007). Nedostatečný obsah sušiny úzce souvisí s nemožností dávkovat potřebné množství posekané trávy (viz výše kapitola Problematika provozu). Dále pozorujeme **nevhodný poměr C : N ve vsázce**. Za kritický je považován poměr C : N nižší než 12 (Váňa, Ušák, 2009), přičemž poměr zjištěný ve vsázce je přibližně 8 až 10. I hodnota tohoto parametru souvisí s nemožností dávkovat potřebné množství posekané trávy, protože větší množství trávy s poměrem C : N 15 – 22 (Váňa, Ušák, 2009) by jistě zvýšilo poměr C : N u celkové vsázky. Nedostatečné množství trávy a obecně tuhých odpadů ve vsázce pak operátor BPS Úpice kompenzuje napouštěním vysokých objemů mnohdy velmi řídkého kalu z místní ČOV, který nemůže dodat potřebné množství sušiny. Kal z ČOV by měl dle projektu tvořit pouze asi třetinu množství celkové vsázky, v roce 2009 však tvořil téměř 60% hmotnosti celkové vsázky (viz příloha č. 2). Špatně fungující příjmový objekt se tedy zdá být hlavní příčinou toho, že BPS Úpice zatím nenaplnuje svůj potenciál.

Nelze vyloučit, že nízká produkce bioplynu souvisí i s inhibičním vlivem nadbytečného množství některých z tohoto hlediska známých látek ve fermentoru (mastné kyseliny, amoniak, H_2S a další látky, Ward et al., 2008). V této práci však nebylo možné tyto faktory sledovat.

Je třeba zmínit i to, že objem zpracovávaných odpadů (v roce 2009 78% předpokládaného ročního množství) by mohl být vyšší.

Nepříznivým ukazatelem je rovněž **poměrně vysoký obsah kyslíku v produkovaném bioplynu**. Straka et al. uvádějí, že obsah kyslíku by v reaktorovém plynu neměl překročit 0,1% obj. (Straka et al., 2006). Všechny hodnoty naměřené v bioplynu z BPS Úpice tuto mez překračují, hodnota z února 2010 (2%) je přímo alarmující. Přítomnost volného kyslíku může být zapříčiněna zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska kvůli tvorbě výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem (Kára, Pastorek, Příbyl, 2007).

Z hlediska řízení a vyhodnocování provozu je nedostatkem BPS Úpice absence

monitorování některých důležitých parametrů procesu (pravidelné měření složení a množství vyrobeného bioplynu, přesné sledování míry naplnění homogenizační nádrže, sledování denního chodu napouštění materiálu z homogenizační nádrže do fermentoru). Z tohoto a dalších důvodů byla i příprava dat pro statistické zpracování velmi obtížná.

Pozitivním faktem u BPS Úpice je to, že pracuje stabilně, bez vážnějších poruch a výkyvů v produkci výstupních surovin, a je schopna efektivně zpracovávat různé druhy odpadů. Rovněž nemá potíže s dodržováním příslušných předpisů, kterých je v této oblasti značný počet. Bioplynové stanice se v České republice jako samostatná zařízení začali rozvíjet teprve nedávno (kolem roku 2005) a proto máme zatím málo dlouhodobějších zkušeností s těmito technologiemi. Navíc pokud se v ČR rozvíjí know-how spojené s výstavbou a provozem bioplynových stanic, týká se to především zemědělských bioplynových stanic, které mají stálou a víceméně neměnnou vsázku (především různé druhy kejdy, zelených odpadů a siláží). Komunální bioplynové stanice, mezi něž se řadí také BPS Úpice, zatím nezaznamenaly zdaleka takový rozvoj. V tomto kontextu je třeba vnímat stav provozu BPS Úpice jako pozitivní příslib do budoucna.

10. ZÁVĚR

Digestát z BPS Úpice je hodnotným organickým hnojivem, které splňuje podmínky stanovené aktuálními právními předpisy a může tedy být certifikován a uváděn do oběhu. Do budoucna je u něj potřeba sledovat především obsah PAU, který by při případném zavedení limitu pro tyto látky u hnojiv mohl činit potíže.

Zpracování dat metodou lineární regrese nevypovědělo jednoznačně o závislosti produkce bioplynu na vloženém množství některého z odpadů zpracovávaných v BPS Úpice. Navíc je třeba zmínit, že použití metody v tomto případě vykazuje určité nedostatky. Přes tyto nedostatky však uvedené výsledky odpovídají obecným poznatkům o produkci bioplynu z jednotlivých materiálů a lze je brát jako určité doporučení pro složení vhodné vsázky v BPS Úpice. Celá část práce zpracovávající data z evidence provozu BPS Úpice je pokusem o uchopení problematiky zpracování dat z provozu fungující bioplynové stanice. Domnívám se, že přístup použitý v této práci je vhodným "odrazovým můstkem" pro další podrobnější zkoumání vlivu složení vsázky na kvalitu produkovaného bioplynu například pomocí dynamických modelů či neuronových sítí.

Bioplynová stanice v Úpici zatím nenaplnuje svůj projektovaný potenciál. Je to patrné především na celkovém množství vyrobené elektřiny, které činilo v roce 2009 pouhých 41 % z projektovaného množství. Hlavní příčinou tohoto stavu je s největší pravděpodobností špatně fungující příjmový objekt, který neumožňuje zpracovávat potřebné objemy trávy a tím ovlivňuje složení a vlastnosti vsázky. Nevhodné parametry vsázky jsou pak určující pro nízkou tvorbu bioplynu a následně i menší množství vyrobené elektrické energie. S ohledem na krátkodobé zkušenosti s podobnými bioplynovými stanicemi v České republice a na širokou paletu zpracovávaných odpadních materiálů, je však třeba konstatovat, že je jednoznačným pozitivem, že BPS Úpice pracuje stabilně, bez vážnějších poruch a výkyvů v produkci výstupních surovin, a je schopna efektivně zpracovávat různé druhy odpadů.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AMON T. ET AL. (2007), *Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield*, Agriculture, Ecosystems and Environment 118 (2007), str. 173–182
- BERNAL-MARTÍNEZ ET AL. (2005), *Combining anaerobic digestion and ozonation to remove PAH from urban sludge*, Process Biochemistry 40 (2005), str. 3244–3250
- BABIČKA L. (2010), *Významný přínos výroby bioplynu*, Biom.cz, online dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznamny-prinos-vyroby-bioplynu> [cit. 2010-02-20]
- BAČÍK O. (2008), *Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu*, Biom.cz, on-line dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu> [cit. 2009-10-18]
- CECM (2009), *BIOODPAD – BIOPLYN – ENERGIE*, tématická informační publikace, on-line dostupné z WWW: <http://www.odpadoveforum.cz/prilohy/Priloha4.pdf> [cit. 2009-11-22]
- CHEN Y., CHENG J. J., CREAMER K.S. (2008), *Inhibition of anaerobic digestion process: A review*, Bioresource Technology 99 (2008), str. 4044–4064
- CZ BIOM (2010), *Mapa - bioplyn, bioplynové stanice, bioplynové elektrárny*, Biom.cz, webová aplikace, průběžně aktualizovaná, on-line dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stanice> [cit. 2010-04-16]
- CZ BIOM (2007), *Odborné stanovisko sekce Bioplyn k problematice zápachu z bioplynových stanic*, Biom.cz, on-line dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/odborne-stanovisko-sekce-bioplyn-k-problematice-zapachu-z-bioplynovych-stanic> [cit. 2009-10-18]
- ČTK (2008), *V ČR funguje 30 bioplynových stanic, letos přibudou další*, článek na webu ČIŽP, on-line dostupné z WWW: http://www.cizp.cz/1057_V-CR-funguje-30-bioplynovych-stanic-letos-pribudou-dalsi [cit. 2009-10-18]
- DOHÁNYOS M. (2009), *Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi*, Biom.cz, online dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivty-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi> [cit. 2009-09-16]
- EKORA (2008), *Provozní řád - Bioplynová stanice Úpice*, elektronická verze poskytnutá provozovatelem stanice

- GUNASEELAN V. N. (1997), *Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review*, Biomass and Bioenergy Vol. 13, Nos. 1/2, str. 83-114
- GUNASEELAN V. N. (2007), *Regression models of ultimate methane yields of fruits and vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition*, Bioresource Technology 98 (2007), str. 1270-1277
- INTERNET (2010), *Výhřevnost paliv*, on-line dostupné z WWW: <http://ekobioenergo.cz/eko-bio-zajimavosti-vyhrevnosti-paliv.html> [cit. 2010-01-03]
- ILLMER P., GSTRAUNTHALER G. (2009), *Effect of seasonal changes in quantities of biowaste on full scale anaerobic digester performance*, Waste Management 29 (2009), str. 162-167
- JIMENEZ, CARTAGENA, ARCE (1990), *Influence of lignin on the methanization of lignocellulosic wastes*, Biomass, Volume 21, Issue 1, Pages 43-54
- KÁRA J., PASTOREK Z., PŘIBYL E. (2007), *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*, I. vydání, VÚZT, v.v.i. Praha – Ruzyně, 117 str.
- LIU C. ET AL. (2008), *Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste*, Bioresource Technology 99 (2008), str. 882-888
- MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU (2009), *Obnovitelné zdroje energie v roce 2008 - Výsledky statistického zjišťování*, on-line dostupné z WWW: <http://www.mpo.cz/dokument64916.html> [cit. 2009-12-12]
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2008), *Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí - sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu*, on-line dostupné z WWW: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicky_pokyn_bioplynove_stanice/\\$FILE/OO-metodicky_pokyn_BPS-20090202.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicky_pokyn_bioplynove_stanice/$FILE/OO-metodicky_pokyn_BPS-20090202.pdf) [cit. 2009-11-22]
- MATA-ALVAREZ J. ET AL. (2003), *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*, I. vydání, IWA Publishing, Londýn, 323 str.
- MATA-ALVAREZ J., MACÉ S., LLABRÉS P. (2000), *Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives*, Bioresource Technology 74 (2000), str. 3 - 16
- MONSON K.D. ET AL. (2007) *Case Study – Source Segregated Biowastes, Vasteras (Växtekraft) Biogas Plant*, University of Glamorgan, on-line dostupné z WWW:

<http://www.walesadcentre.org.uk/CaseStudies/SourceSegregatedMunicipal.aspx> [cit. 2010-01-10]

MUŽÍK O., KÁRA J. (2009), *Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR*, Biom.cz, on-line dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr> [cit. 2009-10-18]

POETSCH E.M., PFUNDTNER E., HOPFNER-SIXT K. (2007), *Nutrient Content And Hygienic Properties Of Fermentation Residues From Agricultural Biogas Plants*, sborník Mezinárodní konference Bioplyn 2007, GAS s.r.o., elektronická verze na CD

SCHULZ H., EDER B. (2004), *Bioplyn v praxi*, I. české vydání, HEL, Ostrava, 168 stran

STIBŮREK J. (2008), *Návrh bioplynové stanice pro vybraný zemědělský podnik*, diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra technologických zařízení staveb

STRAKA F. ET AL. (2006), *Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*, II. rozšířené vydání, GAS s.r.o., Praha, 706 str.

STRAKA F., LACEK P. (2008), *Komplexní posouzení projektové dokumentace a provozního stavu bioplynové stanice Úpice*, elektronická verze, Ústav pro výzkum a využití paliv a.s., Praha

TAMBONE F. ET AL. (2009), *Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW*, Bioresource Technology 100 (2009) str. 3140–3142

TRABLY E., PATUREAU D. (2006), *Successful treatment of low PAH-contaminated sewage sludge in aerobic bioreactors*, Environmental Science And Pollution Research, Volume: 13, Issue: 3, str. 170-176

VÁŇA J., UŠŤAK S. (2009), *Využití odpadů a surovin ze zemědělského provozu k výrobě bioplynu*, manuskript, elektronická verze poskytnuta autorem

VÁŇA J. (2007), *Využití digestátů jako organického hnojiva*, Biom.cz, on-line dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva> [cit. 2010-03-24]

VEČEŘOVÁ V., BLÁHOVÁ O. (2008), *Zásady a pravidla registrace hnojiv podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů – zaměřeno na digestát*, elektronická verze poskytnutá

autorkou

WARD A.J. ET AL. (2008), *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources*,
Bioresource Technology 99 (2008) str. 7928 – 7940

Legislativa vztahující se ke zpracovanému tématu

ZÁKON 185/2001 Sb. o odpadech; v platném znění

ZÁKON 156/1998 Sb. o hnojivech; v platném znění

ZÁKON 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie; v platném znění

NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009
o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které
nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších
produktech živočišného původu)

VYHLÁŠKA 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva; v platném znění

VYHLÁŠKA 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady; v
platném znění

VYHLÁŠKA 257/2009 Sb. o používání sedimentů na zemědělské půdě; v platném znění

VYHLÁŠKA 381/2001 Sb. kterou se stanoví Katalog odpadů; v platném znění

VYHLÁŠKA 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady; v platném znění

12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BP - bioplyn

BPS - bioplynová stanice

BRO - biologicky rozložitelné odpady

BRKO - biologicky rozložitelný komunální odpad

ČOV - čistírna odpadních vod

CHSK - chemická spotřeba kyslíku

KGJ - kogenerační jednotka

MPO - Ministerstvo průmyslu a obchodu

MŽP - Ministerstvo životního prostředí

PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky

PCB - polychlorované bifenyly

TKO - tuhý komunální odpad

TOC - total organic carbon (celkový organický uhlík)

ÚKZÚZ - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

ZŽ - ztráta žíháním

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Souhrn výsledků rozborů tuhého digestátu z BPS Úpice

Datum odběru vzorku	Zkoumaný ukazatel [mg prvku.kg ⁻¹ sušiny]							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
4.12.2008	4,5	0,77	16,0	72,9	0,46	10,7	25,0	411
5.2.2009	1,7	0,69	14,6	83,0	0,41	8,4	24,6	446
14.5.2009	2,2	0,20	10,1	55,4	0,34	8,3	3,9	567
18.9.2009	1,8	0,26	8,3	67,1	0,56	12,7	115,6(*)	678
Průměr stanovených hodnot	2,55	0,48	12,25	69,6	0,44	10,025	42,28 (*)	525,5
Směr. odchylka	1,14	0,25	3,15	9,98	0,08	1,81848	43,19 (*)	105,37

(*) pozn. hodnota ovlivněna mimořádnou událostí – viz. Diskuze

Příloha č. 1 (pokračování): Souhrn výsledků rozborů tuhého digestátu z BPS Úpice

Datum odběru vzorku	Zkoumaný ukazatel [mg prvku.kg ⁻¹ sušiny]						
	PCB [mg.kg ⁻¹ sušiny]	PAU [mg.kg ⁻¹ sušiny]	Sušina [% hmot.]	pH	Spalitelné látky [%sušiny]	N celk. [%sušiny]	P celk. [%sušiny]
4.12.2008	0,05	6,3	23,6	8,3	-	4,4	1,3
5.2.2009	0,14	1,0	19,2	8,5	72,5	3,8	1,5
14.5.2009	0,001	2,9	28,9	8,9	-	5,5	2,2
18.9.2009	0,1	12,6	31,5	8,5	-	4,3	2,3
Průměr stanovených hodnot	0,07275	5,7	25,8	8,55	-	4,5	1,825
Směr. odchylka	0,05	4,41	4,76	0,22	-	0,62	0,43

Příloha č.2: Měsíční a roční součty jednotlivých odpadů zpracovaných v roce 2009 v BPS Úpice

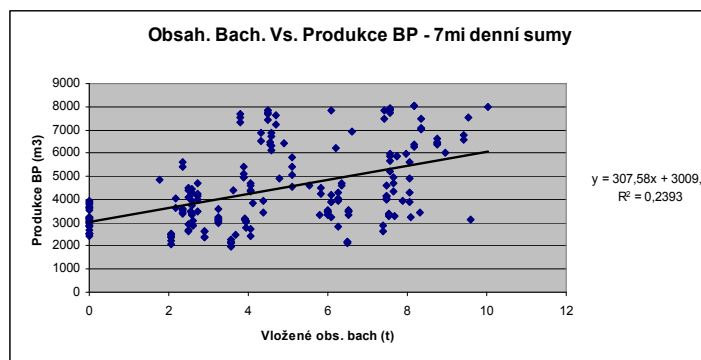
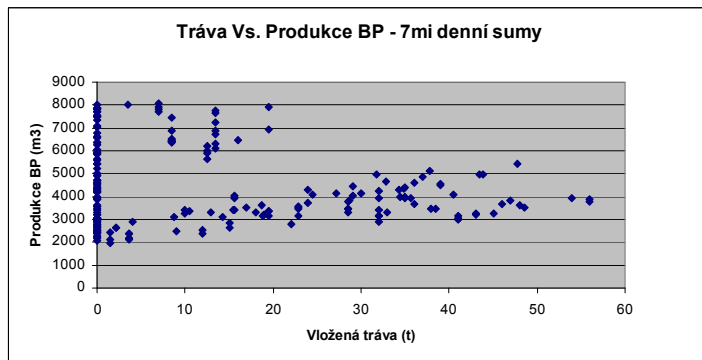
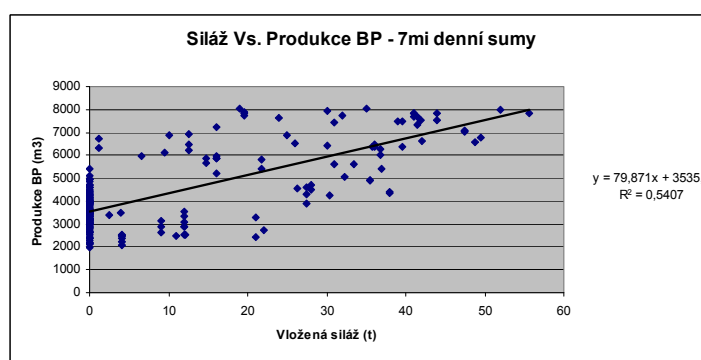
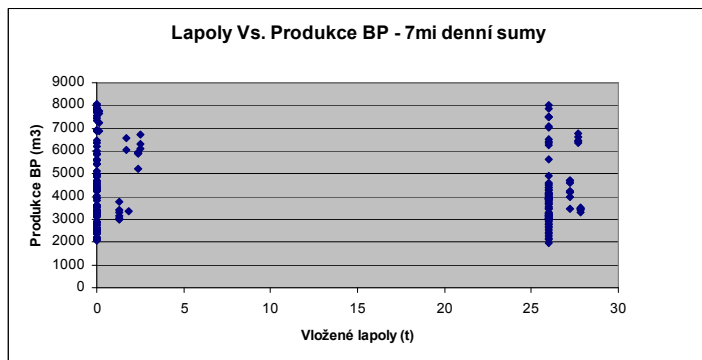
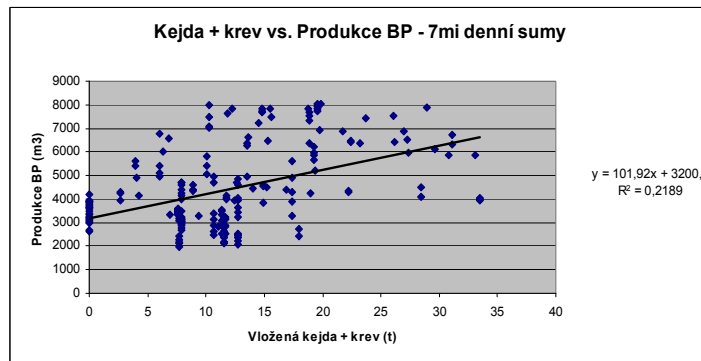
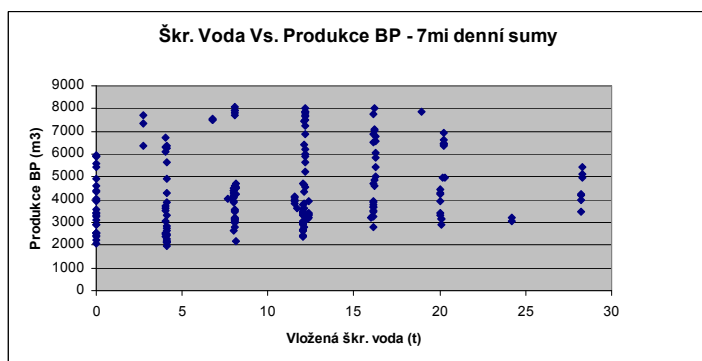
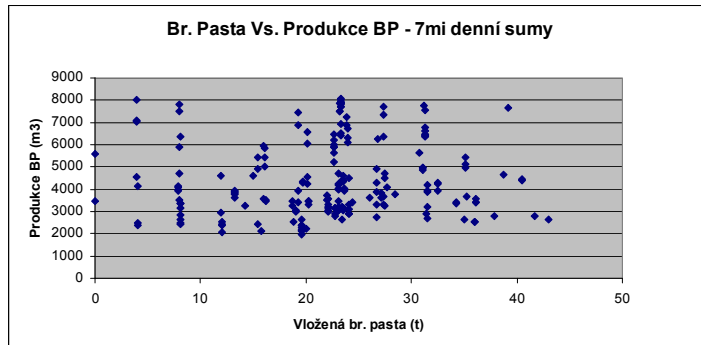
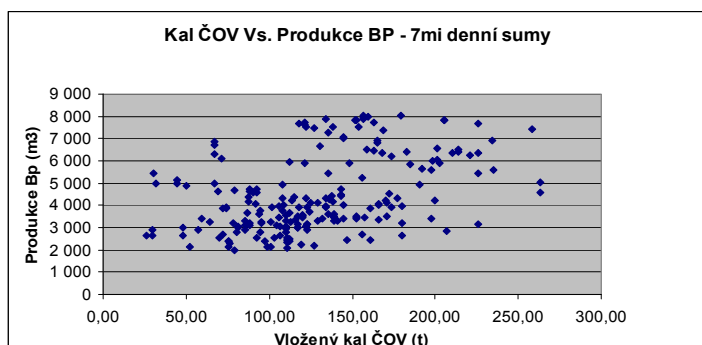
	kal ČOV	br. pasta	škr. voda	kejda + krev	lapoly	siláž	tráva	obsah bach.	bram -bory	kuchy- ně	BIO	celkem
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
leden	289,0	126,5	39,1	10,7	1,6	62,1	40,7	9,0	4,5	0,7	0,0	583,8
únor	413,1	99,4	51,1	10,9	0,8	63,8	0,0	11,5	14,1	5,5	0,2	670,3
březen	448,7	122,6	60,3	22,4	70,3	24,4	4,1	25,5	15,6	3,0	0,5	797,4
duben	443,6	112,7	48,5	44,8	53,9	92,6	12,3	12,1	3,8	4,0	0,0	828,3
květen	479,2	114,4	48,7	34,0	107,9	7,5	77,0	17,4	16,5	1,2	5,2	909,0
červen	408,0	100,1	56,3	34,5	106,0	0,0	0,0	15,1	10,5	2,9	1,6	735,0
červenec	412,1	98,6	24,2	43,6	26,0	16,1	26,5	15,0	4,1	2,7	0,0	669,0
srpen	516,9	92,3	48,2	26,9	79,9	0,0	124,5	8,3	1,9	0,2	0,7	899,7
září	427,4	113,4	56,3	51,8	53,3	0,0	154,8	21,5	1,9	0,0	2,3	882,7
říjen	729,5	89,4	34,8	61,8	26,0	78,0	48,2	25,5	12,6	4,6	1,3	1111,8
listopad	566,7	81,9	48,6	80,3	28,5	92,9	33,0	28,1	4,7	2,7	0,0	967,3
prosinec	913,7	86,1	40,5	60,1	27,7	153,8	8,5	24,7	4,4	3,8	0,0	1323,4
CELKEM	6048,0	1237,3	556,6	481,9	581,8	591,1	529,5	213,8	94,6	31,3	11,8	10377,6
Procenta z celkové roční vsázky	58,3	11,9	5,4	4,6	5,6	5,7	5,1	2,1	0,9	0,3	0,1	

Příloha č. 3: Ukázka dat použitých pro lineární regresi

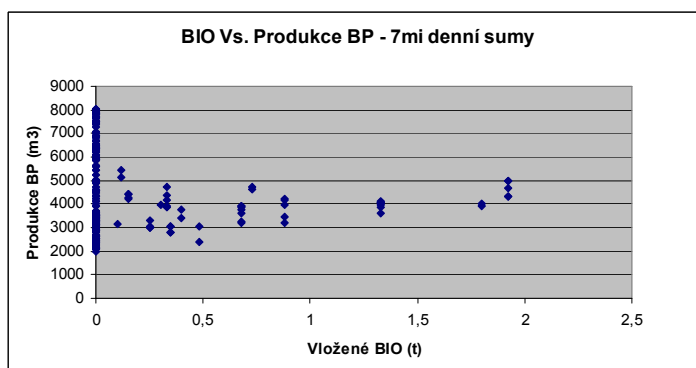
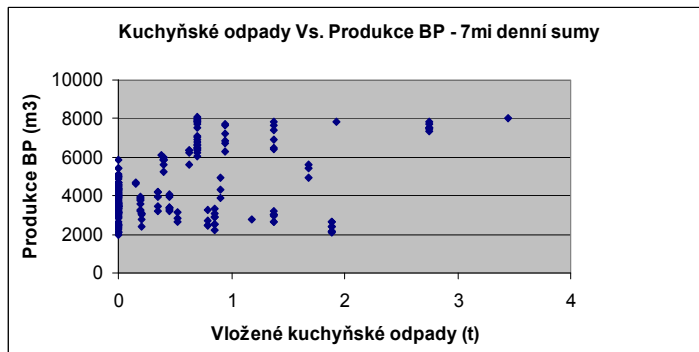
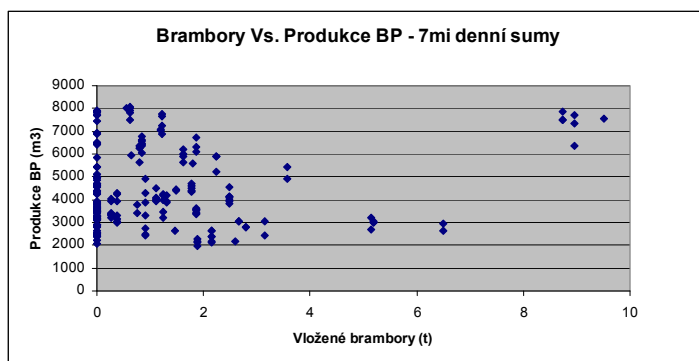
Počátek 7mí denního období	Bioplyn (o den posunutý vůči evidenci)									
	m3	kal ČOV	br. pasta	škr. voda	kejda+ krev	lapoly	siláž	tráva	obsah bach.	brambory
1.6.2009	3 102	104,80	26,48	8,07	11,04	0,79	0,00	0,00	6,26	2,80
2.6.2009	2 808	80,38	37,86	8,07	11,04	0,00	0,00	0,00	6,26	2,80
3.6.2009	2 790	109,89	41,71	12,09	7,86	26,00	0,00	0,00	3,93	2,80
4.6.2009	3 072	122,10	23,07	12,09	7,86	26,00	0,00	0,00	3,93	2,65
5.6.2009	3 054	122,10	23,07	4,02	7,86	26,00	0,00	0,00	3,93	2,65
6.6.2009	3 000	117,01	19,03	12,02	7,86	26,00	0,00	0,00	0,00	5,19
7.6.2009	3 013	117,01	19,03	12,02	7,86	26,00	0,00	0,00	0,00	5,19
8.6.2009	3 043	109,89	19,03	12,02	7,86	26,00	0,00	0,00	0,00	5,19
9.6.2009	2 950	109,89	11,96	12,02	7,86	26,00	0,00	0,00	2,48	6,49
10.6.2009	2 639	106,84	23,46	8,00	0,00	26,00	0,00	0,00	2,48	6,49
11.6.2009	2 679	72,24	31,49	12,01	0,00	26,00	0,00	0,00	2,48	5,14
12.6.2009	3 229	100,73	31,49	16,01	0,00	26,00	0,00	0,00	6,10	5,14
13.6.2009	3 889	74,28	31,49	8,01	0,00	26,00	0,00	0,00	6,10	1,30
14.6.2009	3 909	74,28	31,49	8,01	0,00	26,00	0,00	0,00	6,10	1,30
15.6.2009	4 176	87,51	31,49	8,01	0,00	26,00	0,00	0,00	6,10	1,30
16.6.2009	4 386	87,51	23,38	8,01	7,87	26,00	0,00	0,00	3,62	0,00
17.6.2009	4 705	88,52	8,03	12,04	7,87	27,20	0,00	0,00	6,35	0,00
18.6.2009	4 614	88,52	15,02	8,03	7,87	27,20	0,00	0,00	6,35	0,00
19.6.2009	4 719	92,59	23,06	16,15	7,87	27,20	0,00	0,00	2,73	0,00
20.6.2009	4 222	113,96	23,06	28,20	7,87	27,20	0,00	0,00	2,73	1,25
21.6.2009	4 171	138,38	23,06	28,20	7,87	27,20	0,00	0,00	2,73	1,25
22.6.2009	3 972	105,82	23,06	28,20	7,87	27,20	0,00	0,00	2,73	1,25
23.6.2009	3 471	105,82	23,06	28,20	0,00	27,20	0,00	0,00	2,73	1,25
24.6.2009	3 204	78,35	23,06	24,17	7,73	26,00	0,00	0,00	0,00	1,25
25.6.2009	3 062	106,84	23,52	24,17	7,73	26,00	0,00	0,00	0,00	3,14
26.6.2009	2 414	97,68	15,48	12,05	7,73	26,00	0,00	0,00	0,00	3,14
27.6.2009	2 278	76,31	19,56	4,11	7,73	26,00	0,00	0,00	3,57	1,89
28.6.2009	2 154	51,89	19,56	4,11	7,73	26,00	0,00	0,00	3,57	1,89
29.6.2009	1 978	79,37	19,56	4,11	7,73	26,00	0,00	1,50	3,57	1,89
30.6.2009	2 117	100,73	19,56	4,11	7,73	26,00	0,00	1,50	3,57	1,89
1.7.2009	2 184	127,19	19,56	4,11	11,57	0,00	0,00	3,60	6,48	2,59
2.7.2009	2 120	98,70	15,75	4,11	11,57	0,00	0,00	3,60	6,48	2,16
3.7.2009	2 153	75,30	19,65	8,13	11,57	0,00	0,00	3,60	6,48	2,16
4.7.2009	2 384	75,30	19,55	12,06	11,57	0,00	0,00	3,60	2,91	2,16
5.7.2009	2 386	75,30	19,55	12,06	11,57	0,00	0,00	3,60	2,91	2,16
6.7.2009	2 639	47,82	19,55	12,06	11,57	0,00	0,00	2,10	2,91	2,16
7.7.2009	2 627	26,46	35,00	12,06	11,57	0,00	0,00	2,10	2,91	2,16
8.7.2009	2 658	29,51	43,02	12,06	7,95	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46
9.7.2009	2 891	29,51	31,35	12,06	7,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.7.2009	3 235	64,10	27,45	16,08	7,95	26,00	0,00	10,00	0,00	0,00
11.7.2009	3 116	88,52	23,47	8,04	7,95	26,00	0,00	14,20	3,90	0,00

12.7.2009	3 178	88,52	23,47	8,04	7,95	26,00	0,00	18,90	3,90	0,00
13.7.2009	3 138	117,01	23,47	8,04	7,95	26,00	0,00	22,90	3,90	0,00
14.7.2009	3 512	117,01	8,02	8,04	7,95	26,00	0,00	22,90	6,51	0,00
15.7.2009	3 484	120,07	0,00	8,04	11,38	26,00	4,00	22,90	6,51	0,00
16.7.2009	3 562	120,07	16,00	8,04	11,38	26,00	12,00	22,90	6,51	0,00
17.7.2009	3 319	109,89	24,02	0,00	11,38	0,00	12,00	12,90	6,51	0,00
18.7.2009	3 086	85,47	24,02	0,00	11,38	0,00	12,00	8,70	2,61	0,00
19.7.2009	2 899	85,47	24,02	0,00	11,38	0,00	12,00	4,00	2,61	0,00
20.7.2009	2 877	56,98	24,02	0,00	11,38	0,00	12,00	0,00	2,61	0,00
21.7.2009	2 522	102,77	36,04	0,00	11,38	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00
22.7.2009	2 517	70,21	36,04	0,00	11,65	0,00	12,10	0,00	0,00	0,00
23.7.2009	2 222	119,05	20,04	0,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
24.7.2009	2 081	110,91	12,02	0,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
25.7.2009	2 358	110,91	12,02	0,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
26.7.2009	2 545	110,91	12,02	0,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
27.7.2009	2 456	110,91	12,02	0,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
28.7.2009	2 484	111,93	4,00	4,00	12,75	0,00	4,10	0,00	2,05	0,00
29.7.2009	2 394	111,93	4,00	4,00	12,71	26,00	0,00	12,00	2,05	0,00
30.7.2009	2 537	92,59	18,78	4,00	11,61	26,00	0,00	12,00	0,00	0,00
31.7.2009	2 811	94,63	22,76	16,11	11,61	26,00	0,00	22,00	0,00	0,00

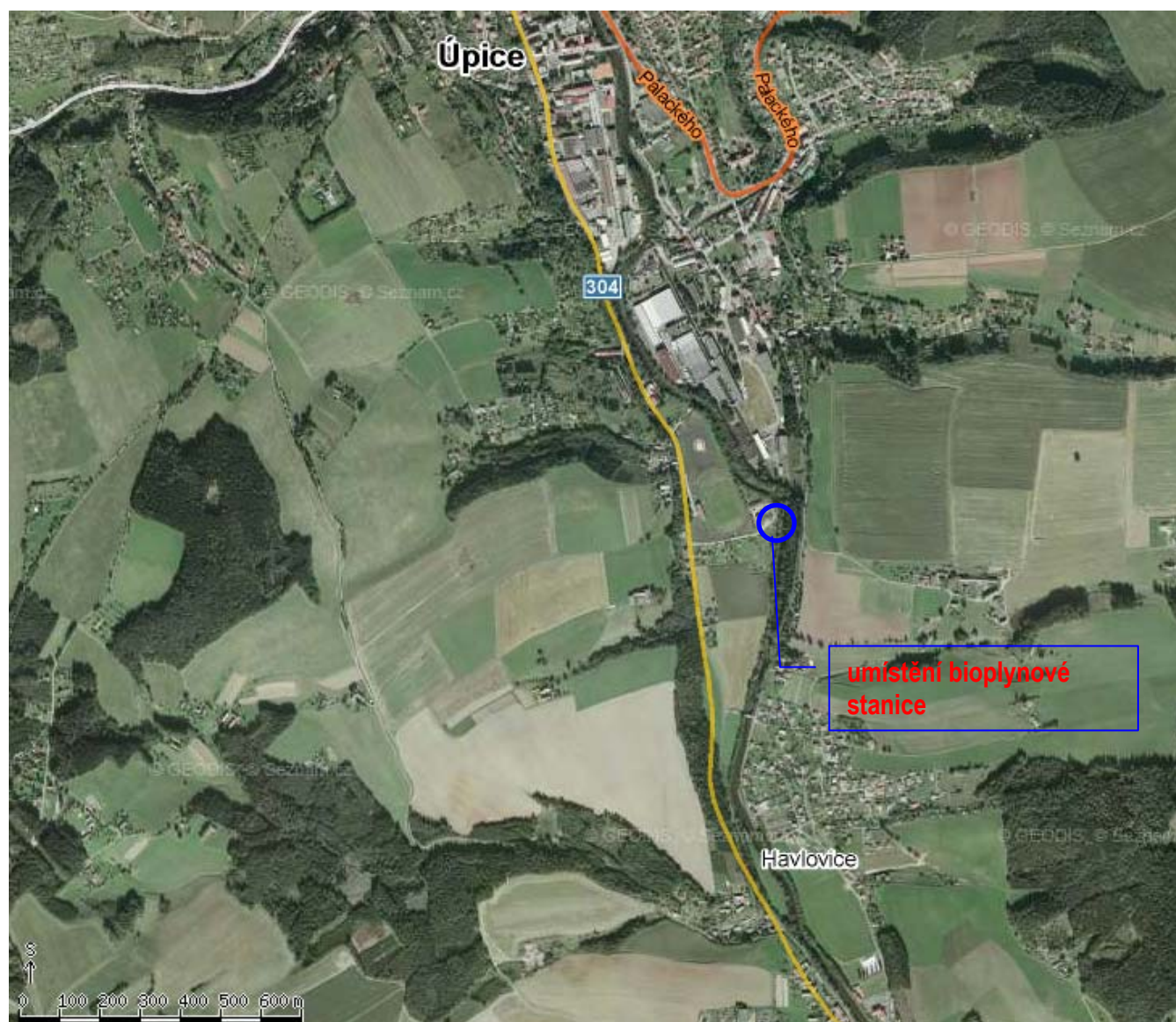
Příloha č. 4: Grafy závislosti množství jednotlivých vložených odpadů a produkce BP



Příloha č. 4(pokračování): Grafy závislosti množství jednotlivých vložených odpadů a produkce BP



Příloha č. 5: Ortofoto mapa umístění BPS Úpice



Příloha č. 6: Fotografie odstředěného digestátu z BPS Úpice



Příloha č. 6 (pokračování): Fotografie odstředěného digestátu z BPS Úpice



Příloha č. 7: Fotografie BPS Úpice



Příloha č. 7: Fotografie BPS Úpice (pokračování)



Příloha č. 8 – Protokol o výsledku rozboru vzorků z 4.12.2009

ÚNS - Laboratorní služby, s.r.o., Kutná Hora



zkusební analytická laboratoř č. 1066 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

VÝSLEDKY ANALÝZ

OZNAČENÍ VZORKU		ODSTŘEDĚNÝ DIGESTÁT		ČÍSLO VZORKU 7282	
UKAZATEL	VÝSLEDEK	ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA	JEDNOTKA	POUŽITÁ METODA	
As	4,5	±0,5	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Cd	0,77	±0,09	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Cr	16,0	±2,0	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Cu	72,9	±9,3	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Hg	0,463	±0,057	mg/kg	SOP55(TNV 75 7440)	
Ni	10,7	±1,3	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Pb	25,0	±2,9	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
Zn	411	±33	mg/kg	SOP57(ČSN EN ISO 11885)	
PAU	6,3	±1,1	mg/kg	SSOP60(ČSN 75 7554)	
PCB	<0,050		mg/kg	SOP61(ČSN EN ISO 6468)	
C10-C40	3950	±600	mg/kg	SOP46(ČSN EN 14039)	
sušina	23,6	±1,2	%	SOP20	
Ncelk.	46100	±3920	mg/kg	SOP12(ČSN EN 25663)	
pH	8,3	±0,1	bezrozm.	SOP21(ČSN ISO 10523)	
Pcelk.	13300	±878	mg/kg	SOP39	
C:N	8,36		bezrozm.	výpočet	